

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

09/4021122

PCT/JP98/01278

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

24.03.98

REC'D 15 MAY 1998

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

#5  
15 Jun 00  
R. Talbot

出 願 年 月 日  
Date of Application:

1998年 2月23日

出 願 番 号  
Application Number:

平成10年特許願第040736号

出 願 人  
Applicant (s):

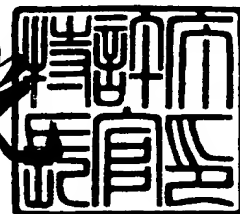
川上 彰二郎

PRIORITY DOCUMENT

1998年 4月24日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Patent Office

荒井寿光



出証番号 出証特平10-3031956

【書類名】 特許願

【整理番号】 3D-PBS-R

【提出日】 平成10年 2月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 1/00  
G02B 26/00  
G02F 1/01  
G02F 1/015  
G02F 1/025

---

【発明の名称】 3次元周期構造体及びその作製方法並びに膜の製造方法

【請求項の数】 15

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市若林区土樋 2 3 6 番地愛宕橋マンションフ  
ァラオ C-09

【氏名】 川上 彰二郎

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市緑区加賀原 1 丁目 4 1 番 5 号

【氏名】 榊 裕之

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県北葛飾郡鷺宮町西大輪 8 6 8 番地

【氏名】 白石 和男

【特許出願人】

【識別番号】 391006566

【氏名又は名称】 川上 彰二郎

【代理人】

【識別番号】 100088096

【弁理士】

【氏名又は名称】 福森 久夫

【電話番号】 03-3261-0690

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成 9年特許願第114951号

【出願日】 平成 9年 3月28日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007467

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

---

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【物件名】 委任状 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 3次元周期構造体及びその作製方法並びに膜の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単独で、または成膜と同時に用いることにより形成したことを特徴とする3次元的に周期的な構造体。

---

~~【請求項2】 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単独で、または成膜と同時に用いることにより3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。~~

【請求項3】 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、周期中のそれぞれ少なくとも一部分においてスパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとがなされている事を特徴とする3次元的に周期的な構造体。

【請求項4】 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、周期中のそれぞれ少なくとも一部分においてスパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとがなされることにより3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。

【請求項5】 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に主として $\text{SiO}_2$ からなる層と主として $\text{Si}$ からなる層とを含む少なくとも2種以上の層を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分をスパッタエッチングとスパッタデポジションとを交互に、または同時に行なうことにより形成したことを特徴とする3次元周期構造体。

【請求項6】 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に主として $\text{SiO}_2$ からなる層と主として $\text{Si}$ からなる層を含む少なくとも2種以上の層を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分をスパッタエッチングとスパッタデポジションとを交互に、または同時に行なうことにより3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。

【請求項 7】 基板の上に 1 個以上の孔・溝を設け、その上にスパッタエッチングと拡散性のデポジションをそれぞれ少なくともその一部に含む過程により、孔・溝をより深く、またはその屈曲部をより鋭く整形することを特徴とする膜の製造方法。

【請求項 8】 基板の上に 1 個以上の孔・溝を設け、その上にスパッタエッチングと拡散性のデポジションをそれぞれ少なくともその一部に含む過程により、孔・溝を空洞に転化する効果をもつことを特徴とする膜の製造方法。

~~【請求項 9】 2 次元的に周期的な凹凸をもつ 2 種類以上の膜状物質を、請求項 2 または請求項 4 または請求項 6 の方法により周期的に順次積層した構造をもつ 3 次元的に周期的な構造体の少なくともその一部分において、または 2 次元的に周期的な凹凸をもつ 1 種類以上の膜状物質を周期的に積層した構造をもつ 3 次元的に周期的な構造体の膜の界面において、光学的分極率が非線形性をもつ物質、または電気光学材料、または透明体、または導電性物質を含むことを特徴とする構造体。~~

【請求項 10】 2 種類以上の透明体よりなる、請求項 2 または請求項 4 または請求項 6 の方法により作成された 3 次元的に周期的な構造体の少なくともその一部分において、発光性あるいは光増幅性物質を含むことを特徴とする構造体。

【請求項 11】 2 次元的に周期的な凹凸をもつ 2 種類以上の膜状透明物質を周期的に順次積層した構造をもつ 3 次元的に周期的な構造体の内部に、導波路あるいは共振器あるいは分岐器あるいは結合器あるいは反射器を含み一直線上にまたは一平面内または立体的に配置したことを特徴とする構造体。

【請求項 12】 2 種類以上の透明体よりなる、請求項 2 または請求項 4 または請求項 6 の方法により作成された 3 次元的に周期的な構造体の内部に、半導体レーザまたは受光器を含むことを特徴とする構造体。

【請求項 13】 基板の上の直交する x 軸、y 軸を対称軸とした 2 次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に共通の周期的な凹凸をもつ 2 種類以上の膜状透明物質を周期的に順次積層した構造をもち、光学的に 2 軸異方性を示すことを特徴とする透明 3 次元周期構造体。

【請求項 14】 1 次元的に周期的な溝列、または 2 次元的に周期的な有限な長さの溝列をもつ透明基板の上に、基板と同種の物質による、基板と凹みの位置の一致した溝をもつ膜と、主として溝に埋め込まれた第 2 の透明物質とを、スパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとをそれぞれ少なくとも一部分において行なうことにより回折作用をもつ層を複数回積層して作成することを特徴とする、回折格子の作成方法。

【請求項 15】 光に対し回折作用をもつ層を複数層有することを特徴とする光回折格子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は、例えば、光波回路素子として用いられる 3 次元的にほぼ周期的な屈折率分布を持つ構造、およびその製造方法と応用技術・応用デバイスにわたるジェネリックな（包括生成的な）技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

物質内において周期が  $1\ \mu\text{m}$  程度ないしそれ以下の 3 次元周期構造を作製する技術は光技術・電子技術分野において潜在的な応用範囲は広い。しかしながら、その作製方法はまだ開発されていないため、周期が  $1\ \mu\text{m}$  程度ないしそれ以下の 3 次元周期構造は実現されるに至っておらず、これまで検討されたものの内主要なものは次の二つである。（1）図 54 に示すような、3 方向からドライエッチングで穴を形成するもの（E.Yablonovitch, "Photonic band-gap structures", J.Opt.Soc.Am.B, vol.10, no.2, pp.283-295, 1993）。（2）図 55 に示すような、すだれ状の基板を対向・ボンディングし、選択エッチングで基板の一方を除去し、再び対向・ボンディングさせる、という操作を繰り返すもの（S.Noda, N.Yamamoto, and A.Sasaki, "New realization method for three-dimensional photonic crystal in optical wavelength region", Jpn.J.Appl.Phys., vol.35, pp.L909-L912, 1996）。これら 2 種の概念は、周期が  $1\ \text{mm}$  程度ないしそれ以下で周期数が 5 以上のものは現在まで実現されていない。



## 【0003】

## 【発明が解決しようとする課題】

前項（１）の方法では、３～４周期を超える加工は不可能であるという問題点がある。また、前項（２）の方法では、選択化学エッチングやボンディングという制御性の低い手工業プロセスに多数回頼るため、再現性・生産性が低いという問題点がある。

## 【0004】

~~本発明は、上記従来技術の課題を解決すべくなされたものであり、周期が1  $\mu$  m程度ないしそれ以下の3次元周期構造体とその応用部品・デバイスを提供すること、および、それらの作製方法を提供することが目的である。~~

## 【0005】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するためには、信頼性・再現性にすぐれた方法で3次元的に周期的な構造体を実現することが必要である。このためには、2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単独で、または成膜と同時に用いる方法が有効である。この方法によって、周期が1  $\mu$  m程度ないしそれ以下の3次元周期構造体を作製することができる。

## 【0006】

## 【作用】

前項の手段によって3次元周期構造体を構成すれば、周期が1  $\mu$  m程度ないしそれ以下のものが簡便に再現性よく実現できる。また、光学的分極率が非線形性をもつ物質、または発光性あるいは光増幅性物質、または電気光学材料、または透明体、または導電性物質などを周期構造の中に取り込むことができ、さらに、導波路あるいは共振器あるいは分岐器あるいは結合器あるいは反射器、または半導体レーザ、または受光器などを周期構造中に作り込むことができるため、3次元周期構造体の応用部品・デバイスを信頼性・再現性にすぐれた方法で作製することができる。本発明は共通の根幹から発して多様な発展を内包するジェネリック（包括生成的）なものであり、このことはこれに続く実施例を通じて明示される。

【0007】

【実施例】

【実施例1】

はじめに薄膜の形成・エッチングについて、本発明で述べているもの、本発明に適用可能なもののいくつかを概略説明する。

図2は一般的な高周波スパッタリング装置の概略図である。真空容器4内に、薄膜の原料物質の供給源であるターゲット5を、またそれに対向させて基板3を配置する。ターゲット5にはインピーダンス整合器6を介して高周波電源7が接続される。真空容器4中に一般に不活性気体（例えばArガス）を主成分とするガス（例えばArガスに水素ガスを添加したガス）を導入し、ターゲット電極に高周波電力を供給してプラズマを生成させる。ターゲット5は時間平均的に負の電位になるため（自己バイアス効果）、正の電荷をもつ気体イオンが高いエネルギーを持ちながらターゲット5に入射し（実線矢印）、ターゲット物質を飛散させる。その飛散した物質粒子が基板3に到着・付着し（破線矢印）、膜が基板上に形成される。

【0008】

図3にはバイアス・スパッタリング装置の概略を示す。図2の装置に基板を保持する基板電極8を加え、整合器6を介して高周波電源7に接続する。基板電極8に高周波電力を供給することで、ターゲット5の場合と同様に気体イオンを基板3の表面へ入射させ（実線矢印）、基板3の表面から粒子を飛散させることができる。供給する高周波電力、ガス種やガス圧力、基板電極の形状などで基板に衝撃するイオンの量やエネルギーおよびスパッタの効果を制御することができる。

【0009】

従来バイアス・スパッタリング法は、LSIにおける電極・配線のための薄膜作製プロセス（メタライゼーション）として利用されてきた。例えば、図4に示すように金属膜配線10を誘電体9で埋め込んで上面を平坦化させる、あるいは図5に示すように2本の配線10間を空洞部を生じないように埋め込むことなどの目的である。2次元周期状凹凸をもつ基板上にスパッタエッチングを少なくと

も一部分に適用して 3 次元構造を作製する技術は全く新しいものである。

図 6 には真空蒸着法の概念を示す。抵抗加熱ないし電子ビーム加熱された蒸着源 11 から原料物質が真空中に蒸散し、基板 3 に到着・付着する。図 7 にはレーザーアブレーション法の概念を示す。レーザー 12 より大出力のパルスレーザー光を原料物質 13 に入射させることにより原料物質の一部分を瞬間的に加熱・蒸散させ、基板 3 に到着・付着させる。

#### 【0010】

また、本発明において膜を整形する役割をもつスパッタエッチングについて説明する。スパッタエッチングと別種の成膜を同時に進行させることもできる。例えば、スパッタリングによる成膜とスパッタエッチングとを同時に進行させる同時プロセスをバイアススパッタリングと呼ぶ。

#### 【0011】

図 3 の装置において、ターゲット 5 には高周波電力を加えることなく、基板電極 8 にのみ高周波電力を印加することにより、成膜の進行しない単独のスパッタエッチングが実現される。このスパッタエッチングは、前述したように膜の整形作用を有しており、ある程度の厚さに膜を成膜した後に行うことにより膜を所望の形状に整形することができる。

#### 【0012】

一方、ターゲット 5 へ高周波電源 7 を印加するとともに基板電極 8 にも高周波電源 7 を印加することにより成膜とスパッタエッチングとを同時に進行させることができる。すなわち、バイアススパッタリングを進行させることができる。

なお、基板電極 8 に印加する高周波電源 7 の電力や周波数、あるいはターゲット 5 に印加する高周波電源 7 の電力や周波数と成膜される膜あるいはスパッタエッチングにより整形される膜の形状との関係は、真空容器 4 内に導入されるガス圧や膜の材質によっても変化するので一律に定めることは難しいが、それぞれの条件において予め実験等により求めておけば当業者は容易に実施することができる。

#### 【0013】

スパッタエッチングにおいて、単位時間にエッチングされる面が法線方向に後

退する割合を面の傾き  $\theta$  の関数として定義し、エッチング率という。エッチング率  $E(\theta)$  は多くの物質に対し図8に示す性質をもつ。すなわち  $0^\circ$  と  $90^\circ$  の中間にある角  $\theta_m$  で最大でそれを境に左右両方向に単調に減少する。このスパッタエッチングは、前述のスパッタリング成膜、真空蒸着、レーザアブレーションの前または後に実行することも可能である。

## 【0014】

3次元周期構造体形成の一例を述べる。溶融石英基板上に、電子ビームリソグラフィおよびドライエッチング法により、周期的な孔の列を形成する。例えば孔の直径を  $0.2\mu\text{m}$  とし、孔の中心間隔が  $0.5\mu\text{m}$  となるように六角格子状に配置する。または基板上に膜を形成しその膜に孔の列を形成してもよく、それをふくめて基板という。その上に  $\text{Si}$  および  $\text{SiO}_2$  を高周波スパッタリング法により堆積し、その中の  $\text{SiO}_2$  の積層の一部には、高周波により電離したイオンが基板表面に入射してエッチングを行う作用、即ちスパッタエッチングと、高周波スパッタリングによる積層を同時に進行させる。成膜条件の一例を挙げる。 $\text{SiO}_2$  の成膜では、ターゲットに印加する  $\text{rf}$  電力を  $400\text{W}$ 、 $\text{Ar}$  流量  $72\text{sccm}$ 、 $\text{H}_2$  流量  $8\text{sccm}$ 、ガス圧力  $2.0\text{mTorr}$  とし、バイアス電力（スパッタエッチングのために基板電極に印加する  $\text{rf}$  電力） $60\text{W}$  を一層の成膜時間すべてにわたって印加する。一方、 $\text{Si}$  の成膜では、ターゲットに印加する  $\text{rf}$  電力を  $400\text{W}$ 、 $\text{Ar}$  流量  $76\text{sccm}$ 、 $\text{H}_2$  流量  $4\text{sccm}$ 、ガス圧力  $3.6\text{mTorr}$  とし、バイアス電力の印加は行なわない。膜厚はどちらも  $0.2\mu\text{m}$  とした。スパッタエッチングの整形作用を利用しているので、 $\text{Si}$  および  $\text{SiO}_2$  を多数周期積層しても基板上的2次元周期形状は失われず、数十周期の積層を行って表面の周期構造は安定であることが原子間力顕微鏡観察で確認されている。内部は図1（具体的には図9）に示すとおり3次元の周期性の高い構造を形成している。

## 【0015】

この周期構造の形成の機構は次のようであると考えられる。スパッタリングにおいて断面を図10の実線に示す基板に、膜の材料物質の粒子が拡散入射する、即ち入射角の有限の拡がりを伴って入射すると、凸部が凹部に対して陰を作る効果

により、堆積される膜には図 10 あるいは図 11 に示すように底部に屈曲（キンク）を生ずる。なお、図中の細線は膜の形成される過程を時系列的に表わしている。その効果にスパッタエッチングを重ねると、角度選択性によって肩部に一定傾斜の面が発達して図 12 に示すような形、または図 13 のような形となる。

#### 【0016】

膜形成には、膜に空間から直接入射する粒子の影響（一次効果）に加えて、膜の他の部分を経由して入射するところの原料物質またはエッチングガスの効果（二次効果）がある。~~すなわち、通常の成膜時、またはスパッタエッチング時には~~、図 14 のように、膜の原料物質の一部が、成膜時の分子の跳ね返り、またはスパッタエッチングによる跳びだしで再付着する効果が存在する。その効果は凹凸の凸部におけるよりも凹部で顕著であるため、形成される凹部の底の形が図 12、図 13 よりやや浅く、図 15 の形となる。再付着は穴または溝が深い・浅いに応じて多く・少なくなるので、積層の進行につれて、くぼみの深さと形は定常的な深さと形に自動的に調節される。また、凹凸をもつ膜の表面を必要によりスパッタエッチングと、通常のスパッタデポジションのように粒子が拡散入射するデポジションを用いて平滑化することも可能である。また、基板には周期的な凹みだけでなく図 16 に示すように周期的な突起をもたせることができるのはいうまでもない。

#### 【0017】

図 17、図 18、図 19 に示すような周期的に配置された孔・溝をもつ基板、または図 20 に示すような非周期的に配置された孔・溝をもつ基板上にスパッタエッチングと、通常のスパッタデポジションのように粒子が拡散入射するデポジションを同時に行なって孔・溝の底を鋭く整形することができる。また、上述の基板、またはその上に成膜して基板の凹凸の位置を保存する膜の上に、通常のスパッタデポジションのように粒子が拡散入射するデポジションを行なって、図 21 に示すように内部に孔・溝状の空洞を形成し、表面にはなお同図に示すように基板の凹凸の位置に一致して孔・溝をもつ膜を作成することができる。これら二つの過程（鋭い底の整形・空洞の形成）を個々に、または任意の順序に組み合わせて加工することができる。また、凹凸をもつ膜の表面を必要によりスパッタエ

ッチングと、通常のスputタデポジションのように粒子が拡散入射するデポジションにより平滑化することも可能であり、その応用範囲はきわめて広い。

#### 【0018】

もう一つの構造の作製方法を説明しておく。図1により説明した構造においては2種類の物質が同程度の厚さをもつが、後述するように別種の機能性材料（ゲスト）を、構造を形成する単一主成分（ホスト）の凹凸表面に、ホストよりはるかに薄く積層し周期を繰り返すことが可能である。即ち、仮にゲストを導入しなければホストは結果的に均一の構造を持つ。換言すれば、均一なホスト材料の間に、ゲストの3次元周期構造を埋め込んだ構造を作製することができる。ホストを2種類以上の物質の、ゲストより厚い膜の周期構造体とするホスト・ゲスト型3次元周期構造体の形成も同様にしてなされる。なお、図1に即して説明すると、物質Aの表面とBの表面とがすべて同一であれば問題なく、仮にAの表面とBの表面が一致しなくとも異なる層の間でAどうし、Bどうしが同形をもてば周期性が保たれる。

#### 【0019】

##### 〔実施例2〕

透明体からなる、媒質内光波長の半分内外の周期をもつ3次元の周期構造については、フォトリック・バンドギャップという効果が理論上予言され、マイクロ波帯（例えば波長3cm帯）のモデル実験で理論が検証されている。3次元周期構造について説明するため、図22に3次元周期構造の概念を示す。3次元周期構造は、屈折率 $n_1$ 、 $n_2$ （ $n_1 > n_2$ ）をもつ厚さ $d_1$ 、 $d_2$ の透明体16、17から構成され、x、y、z方向にそれぞれ周期 $x_1 + x_2$ 、 $y_1 + y_2$ 、 $z_1 + z_2$ をもつ。簡単のために $x_1 + x_2$ 、 $y_1 + y_2$ ともに $z_1 + z_2$ より十分大きく（ $z_1$ 、 $z_2$ は $d_1$ 、 $d_2$ と同じ意味である）、

$$n_1 d_1 = n_2 d_2$$

を満たすと仮定する。この説明から明らかなように、3次元周期構造はその作用においては1次元周期構造、2次元周期構造をその一部として含むものである。このことは本実施例に限らず本願全体についていえることである。z方向に進む波は以下説明する性質をもつ。ある自由空間波長 $\lambda_0$ を中心とする光の波長範囲

$$\lambda_1 < \lambda < \lambda_u$$

において、+z 方向に進む光波は進行するに伴って振幅が指数的に減少し、伝搬することができない。-z 方向にも同様である。 $\lambda_0$ の満たす条件は、

$$\lambda_0/4 = n_1 d_1 (= n_2 d_2)$$

であり、

$$1/\lambda_1 = (4/\pi\lambda_0) (\tan^{-1}(n_1/n_2))^{1/2}$$

$$1/\lambda_u = (4/\pi\lambda_0) (\tan^{-1}(n_2/n_1))^{1/2}$$

である。

【0020】

$n_2/n_1$  が 1 に近いときは

$$(\lambda_u - \lambda_1)/\lambda_0 \sim (4/\pi) ((n_1/n_2) - 1)$$

( $\lambda_0$  は  $\lambda_u$ 、 $\lambda_1$  のほぼ中心)

で与えられる。この現象を Bragg 遮断という。遮断の中心波長は周期の長さに比例する。遮断の生ずる波長域の幅は  $n_1$  と  $n_2$  とがほぼ一致するとき 0 に近づき、

$n_1$  と  $n_2$  の比が大きくなるとき幅は  $\lambda_0$  の数分の一のオーダーとなる。ゆえに、いわゆる Bragg 波長  $\lambda_0$  からある程度離れた波長の光も  $n_1/n_2$  の比が十分大きいと遮断される。構成材料を a-Si (屈折率 3.24) および SiO<sub>2</sub> (屈折率 1.46) とする。この材料系で上式により  $1/\lambda_1$ 、 $1/\lambda_u$  を求めるとそれぞれ  $1/\lambda_0$  から 25% 減、25% 増となる。

【0021】

また、HF 水溶液によって、Si を残して SiO<sub>2</sub> を選択的に溶かし去ることができる。そのあとを例えば空気満たすとき、この構造において屈折率比は 3.24 : 1 になり、同様に  $1/\lambda_1$ 、 $1/\lambda_u$  は  $1/\lambda_0$  から 35% 減、35% 増となる。

以上、説明の便のため  $x_1 + x_2$ 、 $y_1 + y_2$  は  $z_1 + z_2$  より十分大きいとしたが、一般には x、y、z 方向の周期を同程度にしたいことが多い。3 次元周期構造において、任意の方向に向う波は一般に立体角方向ごとに異なる周期を見るので、それぞれの方向ごとの遮断波長帯をもつ。特定の自由空間波長  $\lambda_s$  をもつ光が、その 3 次元周期構造内のすべての立体的な方向に関して遮断波長帯に共通に含

まれるならば、波長 $\lambda_s$ の光をその3次元周期構造の中に完全に閉じ込めることができる。

#### 【0022】

一例として図9に示すように周期構造を形成した。方向 $x$ 、 $y$ 、 $z$ に対する周期はそれぞれ $0.87\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ 、 $0.4\mu\text{m}$ となる。材料系は $a\text{-Si}$ および $\text{SiO}_2$ である。数十周期にわたる周期性が確認された。

具体的に示すならば、 $xy$ 面内に六方対称、 $z$ 方向に周期的な構造ではいわゆるブリュアン域は一例として図23に示す形をとる。波数の原点は六角柱の中心である。比 $n_1/n_2$ が十分大きいと、考えている波長 $\lambda_s$ がブリュアン域の表面全体において遮断域に共通に含まれ波が一切放射しない。それより $n_1/n_2$ が小さくなると例えば図の白い部分を除く表面に対し $\lambda_s$ は遮断域に共通に含まれ、後に示すように多くの応用には十分である。すなわち六角柱の中心から、灰色で示した領域内の一点へ向かう方向の放射波は抑圧され遮断される。

#### 【0023】

また、本例においても本出願全体でも「周期構造」という語を用いているが、勿論出願全体を通じて、周期性が厳密に成り立っていることに限定されない。作成条件の周期性からの小さい変化は影響が小さい。あるいは意図的に周期性をわずかに乱すことにより次のような効果を生むことができる。

図24に示すように、基板上の周期孔を1個または数個を省いて基板を作製し、その上に $\text{SiO}_2/\text{Si}$ の周期構造を実施例1のごとく形成すれば、周期性の乱れた部分が基板に垂直な方向に線状に形作られる。このような領域に沿って光波を伝搬させることができるので、放射の禁止された特異な空間と外部の空間とを結ぶ光の取り出し口・導入口とすることができる。ゆえに周期構造中のこのような乱れは有用である。

#### 【0024】

同様に3次元フォトリックバンドギャップ構造中の点状ないし有限長の線状の乱れ、ループ状の乱れは共振器の動作を行う。

図25には、積層方向および基板面内で、周期を空間的に三つの軸方向ともにゆるやかに変化させて実施例1の方法により形作った3次元フォトリックバンド



ギャップ構造を示す。3次元フォトニックバンドギャップ構造内の特定の方向をもつ光に関し、Bragg遮断条件を満たす周期の部分が空間内の適当な位置において存在するので、光はその領域で折り返すことになり、広い波長域、広い立体角範囲にフォトニックバンドギャップ構造特性が保証される。x、y方向には変調なく、z方向のみに周期を変調するなどの拡張も勿論可能である。

【0025】

〔実施例3〕

本実施例は3次元フォトニックバンドギャップ構造において、光を外部との間で出し入れする導波路や内部で波長を選択する共振器、分岐器などの回路素子の作製方法に関するものである。さきに図24で説明した通り光を積層面に直角をなす方向に出し入れすることができる。また、図26は直角格子状の回路素子の形成方法を説明している。石英基板上に図27に示す如く孔の列を形成する。ここで、線 $\Gamma_1\Gamma_4$ に沿ってx方向の周期にずれを与える。その上にSi/SiO<sub>2</sub>を実施例1のプロセスにより積層する。積層を十分な数繰り返したのち、面 $\Sigma_1\Sigma_2\Sigma_3$ において積層の厚さ方向に図26に示すずれを与える。この方法により光のパワーを線 $O_1O_2$ の近くに局在させ、 $O_1O_2$ に沿って伝搬させることができる。

【0026】

この構造において次のことが生ずる。面 $\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3$ におけるずれにより、光は $\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3$ から左方にも右方にも、遠ざかるにつれ振幅が指数的に減少するので波は $\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3$ に沿い局在する。また $\Sigma_1\Sigma_2\Sigma_3$ におけるずれにより光は $\Sigma_1\Sigma_2\Sigma_3$ から上方にも下方にも遠ざかるにつれ振幅が指数的に減少する。その両方の作用により波は $O_1O_2$ に沿い局在し、その方向に伝搬が生ずる。

【0027】

周期性のずれを用いる伝搬路の形成とは別に、屈折率の異なる部分の導入による伝搬路の形成が可能である。図28には図1に示したSi/SiO<sub>2</sub>3次元周期構造の作製中の、SiO<sub>2</sub>が積層された状態の、yz断面を示す。表面にレジスト18を設け、y方向に1周期ないし数周期の幅AA'をリソグラフィにより取り除く。ストリップ状の開口AA'からドライエッチングによりSiO<sub>2</sub>を一

部除去するか、またはそれより深く除去する。これを点線で示す。そこへ Si をスパッタリングにより埋め戻し、ほぼ原表面に復した後、レジストをリフトオフ法により除去する。この操作によって表面凹凸の周期構造を保ち、その上に実施例 1 に従って z 方向に多数回成膜を続ける。なお上記のプロセスにおいて、断面の y 方向周期性を甚しく損なわない範囲で、 $\text{SiO}_2$  のドライエッチング操作を省略すること、または Si による埋め戻し操作を省略することも可能である。また、上記の構造において、Si と  $\text{SiO}_2$  の役割を入れ替えることも可能である

## 【0028】

この作製法により光を波長選択性共振、分岐、結合、反射させることができる。これらの回路では放射が抑圧されている、ないし放射が生ずる方向が限定されているため放射損失が減少し、従来の光回路では過大な放射損失のため実現できなかった構成が可能になっている。即ち、図 23 の例で云うと、考えている回路素子から強く放射の生じ得る方向を、灰色の部分がおおっていれば放射損失を防止できる。上面からの透視図でそれぞれの回路を以下表す。

## 【0029】

図 29 においては、入射導波路 A からの光波は B、C に分岐される。

図 30 には三様の共振器を例示している。共振器 B 上に光波が定在波を形成する条件をみたす波長の近傍において A からの光波は C に透過し、それ以外では波は反射される。共振器 E は導波路 D とのみ結合する。共振条件外では D から入った波は内部損失の分を除けば全部反射される。共振条件下では内部蓄積エネルギー、損失、(材料損失と、もし残留していれば、小さい放射損失) とともに増加するので反射係数は低下する。リング状の共振器 G 上で光の波長が丁度定在波条件をみたす時 F から H への透過が生ずる。

## 【0030】

図 31 では、導波路 AB と CD が局部的に近接し、その部分で両者の横方向に指数的に減少する波が重なり合い、二つの導波路の間のパワーのやりとり、即ち結合を生ずる。

図 32 では、A、B の間に幅の狭くなった部分をおき波を部分反射させる回路

C、Dの間に短い側路をおき波を部分反射させる回路を示している。

また、屈折率の異なる部分を形成するためには図28と同じくリソグラフィによってマスクを形成した後、イオン注入法を利用することができ、従って導波路、共振器、分岐器、結合器、反射器などを形成することができる。

#### 【0031】

放射の抑圧された構造(PBS, Photonic Bandgap Structure)において光回路の接続が飛躍的に自由になる効果を図33を参照しつつ例示・説明する。導波路INにより左方から入射した光は分岐器BRにより上下に別れた路をとる。下方の枝を通る光は共振器R2を経て透過、またはR2で反射する。透過する波は結合器Cへ向かう。上方の枝を通る成分は同様に振る舞い、透過する成分は結合器Cへ向かって、並行する導波路に結合する。合波された信号波はREFで示す反射器で一部は反射され、一部は出力端OUTに向かう。

#### 【0032】

このような操作を通常の光集積回路で行なうことは、過大な放射損失のため実際は不可能であるが、PBSの中では電気回路を接続するのと同様に実行することができ、光回路の設計の自由度が飛躍的に増大する。

図34に示す面内の導波路と図35に示す面に垂直な導波路とを組み合わせることにより、図36に一例を示す立体的な光回路を構成することができる。従来の光回路技術では高々一平面内の光回路が実現されているだけであるので、本技術により光回路の設計・作成の自由度は文字どおり新しい次元に入ることができる。

#### 【0033】

##### [実施例4]

本発明における3次元周期構造を形成する過程において生ずる、表面の2次元凹凸周期構造の凹み部または凸起部に、選択的に機能物質を導入する方法を以下説明する。積層においても、エッチングにおいても、山部、谷部それぞれをより多く積層ないしエッチする効果がそれぞれ存在することを示そう。図37には凹凸のある基板に原料物質の粒子が入射する様子を示す。基板に到来し、付着しないで反跳する粒子が基板に再到着・付着する効果は凹部において多い。即ち、原

料物質の粒子が反跳する現象は凹部に選択的に堆積する効果をもつ。また、凹部は、凸部の影になり角度分散のある入射粒子が遮られるため、凸部に比べて堆積が少なくなる効果をもつ。一方、付着した粒子は熱エネルギーにより基板表面を動き回ることができる。これはマイグレーションと呼ばれる。マイグレーションにおいては、平均的に温度の高い部分から低い部分へ粒子がいわば吹き寄せられるような移動が生ずる。基板上では通常凹部が凸部より温度が高く、凹部から凸部への移動が生ずる。スパッタエッチングにおいても同様に凹部が多くエッチされる機構、逆に凸部がより多くエッチされる機構が存在する。即ち、気体イオンによるスパッタエッチングにおいても反跳イオンは存在し、反跳イオンは凸部より凹部をより多く侵食する。一方、以前に図 8 で説明した通り、水平面より傾斜部はより深くエッチされるので、もし表面が図 38 の形をしていれば谷部がより深く、表面が図 39 の形をしていれば山部がより深くエッチされる。

## 【0034】

以上を要約すると、成膜条件、スパッタエッチ条件、造影効果、表面粒子の移動しやすさ、表面形状など諸条件の適切な選択によって堆積においては山部を厚くも谷部を厚くも成膜でき、エッチングについては山部を深くも谷部を深くも除去できる。

本発明において、パターン形成法が少なくとももう一つある。機能性ゲスト材料を山または谷の平坦部に堆積し傾斜部に堆積しないようにすることもできる。即ち、凹凸表面にゲスト材料をほぼ一様な厚さに堆積し、引き続きスパッタエッチにより、平坦部をより浅く、傾斜部をより深くエッチすることによりゲスト材料を傾斜部には残さず平坦部であるところの山頂と谷底とに残すことができる。

## 【0035】

図 40 は 3 次元の金属・絶縁物・金属 (MIM) トンネル接合とその作成法を説明するためのものである。実施例 1 のように、基板 3 (熔融石英) 上に凹凸パターンを形成し、その凹部に金属 21 の領域 (例えばアルミニウム) を形成する。酸素を一時導入して 21 の表面を酸化し、さらに凸部に金属 22 の領域を形成する。但し A1 は絶縁膜 (アルミナ) を作るためにのみ用いて、金属 21、22 を Pt、W、Ti などとすることも可能である。その上に  $\text{SiO}_2$  の凹凸パターンを

形成し、以下繰り返すことにより、金属・絶縁物・金属トンネル接合の高密度 3 次元列を形成することができ、マイクロ波（ミリ波、サブミリ波を含む）の検出器として小型で高効率なデバイスを実現することができる。なお図 40 において、 $xy$  面上のパターンを  $y$  方向に引き伸ばされた線状またはすだれ状のパターンとして 2 次元化することができるのは云うまでもない。

## 【0036】

なお MIM のトンネル接合としては各横方向周期に対応して接合を作る（図 41）の他に図 42 のように積層化させる方法や図 43、図 44 のような島状膜を用いてトンネル電流を流すこともできる。但し、図 41 や図 42 では金属膜が厚い場合、積層（ $z$ ）方向で光が透過しないので PBS との組み合わせの仕方が制限される。例えば図 45、図 46、図 47 の形で用いる方法（なお図中の FU（Functional Unit：機能単位）は MIM トンネル構造の複合体である。）、あるいは積層させて、面に沿う方向に光を伝搬させる方式が可能である。膜厚の薄い場合はこの種の制限がない。なお、MIM の利用法としては非線形の  $I-V$  特性を利用した、スイッチや検波・混合などへの応用と注入による発光を利用するもの（プラズモン発光）が可能である。非線形  $I-V$  特性等の電気特性によるスイッチング等の電子機能を用いるときは不透明のホスト材料を用いてもよい。

## 【0037】

## 〔実施例 5〕

2 種類以上の材料から構成される 3 次元周期構造体において、構成材料を SiC や Si などの導電性材料とすることができる。その構造においてヘテロ接合受光器を形成するなど、電子素子とフォトリック・バンドギャップ（PBG）効果を利用した光学素子を融合させた性質を持つデバイスを作製することができる。

## 【0038】

以下、より詳しく説明する。その準備として、機能材料（F とする）又は機能単位（FU）をフォトリック・バンドギャップ構造（PBS）に導入する方法を 3 つに分類する。

（イ）FU を PBS 構造に囲まれる形（領域）に導入する方法（図 45、図 46、図 47）

(ロ) P B S を構成する周期的に用いる物質 ( S i O<sub>2</sub> や a - S i ) の一部に F を挿入して用いる方法 ( 図 4 8 )

(ハ) P B S を構成する周期的に用いる物質 ( S i O<sub>2</sub> や S i など ) の一方を機能物質で構成する方法 ( 図 4 8 )

# 【 0 0 3 9 】

上のいずれの形で用いるかによって半導体や金属の構造などの構成が変わる。

以下に示す例では ( イ ) ( ロ ) ( ハ ) の諸例が示されている。この場合、 P B S を構成する 2 つの物質 A、B の構成法には下記の如く少なくとも 4 通りのものが考えられる。

【表 1】

	タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3	タイプ 4
物質 A	半導体 A	2 種の半導体 A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> の 複合膜	半導体 A	A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> の 複合膜
物質 B	半導体 B	半導体 B	絶縁膜と 半導体 B の 複合膜	絶縁膜

# 【 0 0 4 0 】

P B S を構成する材料を S i や S i C などのようにすべて半導体にすると屈折率の差が小さくなるため、すべての方向に遮断帯またはある波長域における遮断特性を保つことは困難になるが、主軸方向に沿ってはバンドギャップが維持される。この種の構造では積層方向に伝導性が得られるので、様々な新しい機能が達成できる。例えば p 形、n 形になるように各々の層を適当にドーピングすることにより、多重又は一対の p n 構造が得られるので、整流性が得られ、逆バイアスを加えた状態では p i n 検出器として利用でき、順バイアスされた接合では発光素子

として利用できる。なお、P B Sを構成する半導体A、Bにおいて一方又は双方を超薄膜の多層構造で構成すると、量子井戸や2重障壁構造などを作り込むことができる(タイプ2)。この場合、①共鳴トンネル効果に伴う負性抵抗特性や、②順方向にバイアスされた量子井戸では2次元電子・正孔の注入に伴う発光吸収・屈折率の変調効果、さらに③逆バイアスされた量子井戸に見られるシュタルク効果(電界に伴って吸収率や屈折率の変化する効果)が現れる。

さらに(タイプ3や4のように)、絶縁膜を使用した構造では積層方向に電流を流すのは困難となるが、量子井戸薄膜の効果や絶縁膜中に分散したシリコン超微粒子などの持つ注入発光などの光学的特性があらわれる。

#### 【0041】

##### [実施例6]

本実施例では、光学的分極率が非線形性をもつ物質、あるいは非線形物質を媒質中に3次元周期的に配列した構造およびその作成方法とその効果を述べる。前記媒質は実施例2で説明した周期的な構造であっても良い。

説明の順序として、従来の技術を略述する。Cu、Au、Agなどの微粒子は非線形分極率をもつので、ガラス基板上に微粒を形成して、その上にレーザ光を照射して高調波を発生させ得ることが知られている。この場合、高調波は、空間にランダムかつ平均的には一様に存在する微粒から発生するため基本波レーザ光と一定の位相関係をもたせることができない。

#### 【0042】

実施例1で説明した通り石英基板上に周期的凹凸を形成し、その上にスパッタエッチングを少なくとも一部分に含みつつSiO<sub>2</sub>膜を堆積する。その上にCu、Au、Agなどの膜を堆積し、熱処理を行うと堆積時の跳ねかえり(反跳)により凸部より凹部により多く積層される。ただし成膜時の温度やイオン衝撃エネルギーによる粒子の表面移動の効果を利用して凸部により多く積層することもできる。これらの効果により2次元周期形状を呈する。

#### 【0043】

(1) その上にSiO<sub>2</sub>膜を形成して以下繰り返すことができる。この方法によれば均質なSiO<sub>2</sub>媒質中に非線形分極率をもつ物質が3次元周期的に配列す

る。故に、前述の方法で高調波を発生させたとき、配列要素間に一定の位相差が生じ、その干渉の結果、空間の特定な方向に高調波を効率よく放射させることができる。(2) その上に Si 膜を形成し、(その上に Cu、Au、Ag などの膜を形成してもよく、形成せず直ちにでもよく) その上に  $\text{SiO}_2$  膜を形成し以下くり返すことができる。この方法によれば、(1) の方法の効果に併せて、PBS の効果により高調波の放射の生ずる方向の数を一つにする、ないし (1) よりも制限することができるという効果がある。

---

【0044】

金属微粒子だけでなく、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$  などのニオブ酸・タンタル酸系物質は非線形光学効果をもち、スパッタリング等により薄膜化が可能であるので、それを (1) ないし (2) の方法で 3 次元周期構造化して非線形特性を利用することができる。

あるいは図 49 に断面を示すように、凹凸をもつ  $\text{SiO}_2$  の上に  $\text{LiNbO}_3$  (または  $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$  など) を薄くスパッタし、スパッタエッチングにより斜面部のみを除去して山部、谷部を残し、繰り返すことにより 3 次元周期構造を形成することもできる。

【0045】

〔実施例 7〕

実施例 6 の (1) に書いたように、一様な第 1 のホスト透明体の中に第 2 の微小なゲスト透明体を 3 次元周期構造体として導入することができる。これは 3 次元の透過または反射回折格子として利用できる。ゲストは 3 次元的に分布するので、入射波からみたとき大きい回折断面積、即ち高い回折効率を得ることができる。なお、必要によっては表面の凹凸をバイアススパッタリングによって平滑化することができる。

【0046】

〔実施例 8〕

図 50 は発光・光増幅機能をもつ物質を含む 3 次元の周期構造体とその作成法を説明するためのものである。実施例 1 のように、石英基板上に凹凸パターンを形成し、その上に活性元素 Er を含む  $\text{SiO}_2$  の領域を形成する。その上に Si の



領域を形成する。その上に  $\text{SiO}_2$  の凹凸パターンを形成し、以下繰り返すことにより、発光・光増幅機能をもつ物質を含む 3 次元の周期構造体を形成することができる。

## 【0047】

この系は光励起により  $1.5 \mu\text{m}$  帯の光を発生・増幅することができる。ブラッグ遮断の効果により、励起された  $\text{Er}$  イオンが自発発光によりエネルギーを失う率が激減するので、光発生・増幅の効率が高まるという効果がある。なお  $\text{SiO}_2$  に  $\text{Y}$ 、 $\text{Nd}$  などをドーピングすることができる。稀土類のほかに、 $\text{CdS}$  など半導体の微結晶を実施例 6 のごとく成膜途中の 2 次元凹凸界面に導入することにより光発生・増幅を行なわせることができる。

## 【0048】

図 51 に示すように、物質 20 ( $\text{SiO}_2$ ) の凹凸面の上に  $\text{CdS}$  や  $\text{CdTe}$  などの微細結晶からなる超薄膜を形成し、スパッタエッチングにより斜面部のみを除去して山部、谷部を残し、そのうえに物質 19 ( $\text{Si}$ ) を堆積する。この過程を繰り返して、 $\text{SiO}_2$  と  $\text{Si}$  からなる  $\text{PBS}$  の中に微細な  $\text{CdS}$  や  $\text{CdTe}$  などの結晶群を 3 次元周期的に形成することができる。 $\text{CdS}$  や  $\text{CdTe}$  などを励起すると光を放射することができるが、 $\text{PBS}$  中の放射が遮断される方向には自発再結合発光がないので励起状態分子の利用効率が高い。

## 【0049】

## 〔実施例 9〕

本実施例では、電気光学効果をもつ物質を 3 次元周期構造内に配列した構造、その作成方法例と作用効果を述べる。

実施例 1 で説明した通り石英基板上に周期的凹凸を形成する。 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}$  を順次（スパッタエッチを含みつつ）成膜する。 $\text{Si}$  はノンドープとする。ついで電極として  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  の 1 周期ないし数周期、導電性をもたせつつ成膜する。（なお  $\text{Si}$  には  $n$  型（または  $n^+$ ）、ないし  $p$  型（または  $p^+$ ）を用いる。これらにより導電性を持つ層を  $\text{PBS}$  特性を保持したまま形成できる。

$\text{PBS}$  内部に液晶物質を導入し、ここで述べた電極により電圧を与えれば、液晶の配向を制御することができ、複屈折や屈折率を制御することができ、可変波

長共振器を形成できる。

【0050】

〔実施例10〕

半導体レーザなどの発光素子を3次元周期構造体中に作り込むことにより、発光素子が本来持っている自然放出光の放射を抑えることができ、これによってしきい値電流を極めて小さくすることができる。

【0051】

図5.2には、面発光レーザあるいはマイクロキャビティレーザ(Microcavity

Laser)を3次元PBS内に作製した構造を示す。当該レーザから出力導波路への結合を除いて、他の方向への自発再結合発光は著しく抑圧されるので、レーザ動作しきい値が減少し有利である。

【0052】

また図5.3には3次元PBSとレーザを一体集積する方法および当該構造を示す。化合物半導体基板(例えばInPまたはGaAs)上に2次元凹凸を形成し、その上に実施例1、2の方法でSiO<sub>2</sub>/a-Si等の3次元PBSを形成し、ドライエッチングにより基板上にとどく孔を形成する。その面の上にエピタキシャル成長により半導体レーザを作る。この構造では横方向への不要放射が禁止、または抑制されるのでレーザ動作しきい値が低下して有利である。図5.2および5.3において、電極とリードは別に設けてもよく、あるいはPBS中のSiにドーピングして電気伝導性をもたせ、電極とリードの役目をさせることもできる。

【0053】

〔実施例11〕

また、PBSのプログラマブルレーザへの次の応用が可能である。別項(実施例2および図2.3)で述べたように、特定モードしか許されないPBS構造の内部に電氣的に励起できるpn接合や光学的に励起のできる色素などを設けた複合素子では、許されたモードに関与した発光過程のみが許され、他の自然光が特定方向に沿ってのみ放射される。こうしたPBSにおいてはその構成要素に電気光学効果のある材料を用いるとフィルター特性が外部電圧によって制御できるので、発光素子のスペクトルや発光方向を電氣的にプログラムできる。

【0054】

## 〔実施例 12〕

フォトダイオードなどの受光素子を導波路で外部と結合された、PBS特性をもつ3次元周期構造体中に作り込むことにより、受光器への外部からの放射即ち雑音入力を抑えることができ、これによって入力雑音の低下と受光感度の向上を図ることができる。また放射立体角の消失または減小に基き零点ゆらぎの自由度が消失または減小し、雑音がいっそう減小する。

【0055】

さらに、プログラマブル受光素子を実現することが次のようにしてできる。完全なPBS構造の内部に特定の波長域にだけ感度を持つようなpn接合や光伝導形の受光素子を組み込むと外部からの信号光も背景光も感光部に到達しない状態となる。この状態からわずかにずれたPBSを用いると、特定の波長の光のみが特定の方向から光検出部に到来する。従ってこの複合素子は入射光の波長と方向（波数）に強い選択性のある複合素子に用いられる、PBSにおいてその構成要素に電気光学効果のある材料を用いるなどフィルター特性が外部電圧の印加によって変化できるので、受光素子の応答特性を電氣的にプログラムすることができる。

【0056】

## 〔実施例 13〕

図18に示すように基板上の直交するx軸、y軸を対称軸とした2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に、共通の周期的凹凸をもつ2種類以上の透明物質を周期的に積層すれば、遮断周波数領域を除く一般の波長域で、その立体構造は実効的光学誘電テンソル

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

をもつ2軸異方性の人工媒質として機能する。適切な設計によれば、天然物質と

異なりある範囲の媒質定数を連続的に実現できる、また遮断域近傍で現れる強い分散性のため極めて大きい異方性を実現できるという性質がある。

【0057】

【発明の効果】

以上のように、請求項2あるいは請求項4あるいは請求項6の方法によれば、スパッタエッチングを単独で、または成膜と同時に用いる技術の形状整形効果を活かして、極めて微細な、3次元的に周期的な構造体を工業的に作製することができるので、~~フォトリソグラフィ効果を実現できる。~~

---

【0058】

請求項9によれば、前項の技術を更に発展させ、3次元周期構造の内部に光学的分極率が非線形性をもつ物質、または電気光学材料、または透明体、または導電性物質などを周期的に設けることができ、多種多様な電子機能、光機能が可能となる。

【0059】

請求項10によれば、3次元周期構造の内部に発光性あるいは光増幅性物質を周期的に設けることができ、高効率な光能動素子が可能となる。

【0060】

請求項11によれば、周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状透明物質をほぼ周期的に順次積層した構造をもつ3次元的にほぼ周期的な構造体、即ち光波長のある範囲で遮断特性をもつ人工媒体の中に、導波路あるいは共振器あるいは分岐器あるいは結合器あるいは反射器、または受光器等の機能部品を集積することができる、無放射特性の利点を活用することができる。

【0061】

請求項12によれば、3次元周期構造の内部に半導体レーザを設けることができ、自然放出光損失のない高効率のレーザ作用が実現できる。

【0062】

請求項13によれば、基板の上の直交するx軸、y軸を対称軸とした2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に共通の周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状透明物質を周期的に順次積層した構造を実現できるので、任意の値の対角形誘電率

テンソルで表される光学的 2 軸異方性を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 2】

スパッタリング法を示す説明図。

【図 3】

バイアススパッタリング法を示す説明図。

---

【図 4】

従来のバイアススパッタ法の適用例を示す説明図。

【図 5】

従来のバイアススパッタ法の適用例を示す説明図。

【図 6】

真空蒸着法を示す説明図。

【図 7】

レーザアブレーション法を示す説明図。

【図 8】

エッチング率の角度依存性を示す説明図。

【図 9】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 10】

本発明の作製メカニズムを示す説明図。

【図 11】

本発明の作製メカニズムを示す説明図。

【図 12】

本発明の作製メカニズムを示す説明図。

【図 13】

本発明の作製メカニズムを示す説明図。

【図 14】

本発明の作製メカニズムを示す説明図。

【図 15】

本発明の作製メカニズムを示す説明図。

【図 16】

本発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。

【図 17】

本発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。

【図 18】

本発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。

【図 19】

本発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。

【図 20】

本発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。

【図 21】

本発明の作製メカニズムを示す説明図。

【図 22】

3次元周期構造の特性を説明するための図。

【図 23】

x y 面内に六方対称、z 方向に周期的な構造のブリュアン域を示す説明図。

【図 24】

本発明の一つの実施例を示す説明図であり、点線の円は実線で示すべき円孔が本来の位置に存在しないことをあらわす。

【図 25】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 26】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 27】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 28】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 29】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 30】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 31】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 32】

---

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 33】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 34】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 35】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 36】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 37】

本発明の一つの実施例で使用する選択的積層を示す説明図であり、Tは山、Vは谷である。

【図 38】

本発明の一つの実施例で使用する選択的エッチングを示す説明図であり、実線の輪郭が破線状に変化する。

【図 39】

本発明の一つの実施例で使用する選択的エッチングを示す説明図であり、実線の輪郭が破線状に変化する。

【図 40】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 41】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 4 2】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 4 3】

本発明の一つの実施例を示す説明図であり、だ円は島状薄膜金属を表し、曲面上に点在する。

【図 4 4】

---

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 4 5】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 4 6】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 4 7】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 4 8】

本発明の一つの実施例を示す説明図であり、A、B（即ち 1、2）の界面に機能物質 F を挿入する方法が（ロ）、A または B を F で構成する方法が（ハ）である。

【図 4 9】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 5 0】

本発明の一つの実施例の作製法を示す説明図。

【図 5 1】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 5 2】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 5 3】

本発明の一つの実施例を示す説明図。

【図 5 4】



本発明を使用しない 3 次元周期構造の作製方法を示す説明図。

【図 5 5】

本発明を使用しない 3 次元周期構造の作製方法を示す説明図。

【符号の説明】

- 1 物質 A (例えば  $\text{SiO}_2$ )
- 2 物質 B (例えば  $\text{Si}$ )
- 3 基板
- 4 真空容器

---

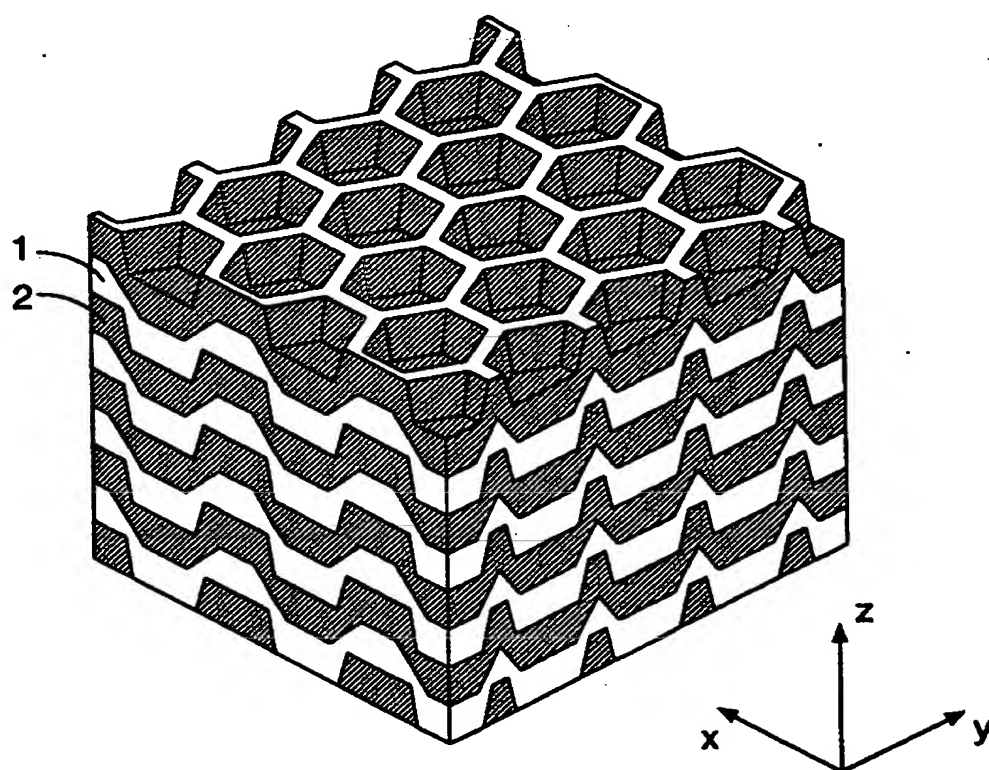
- 5 ターゲット
- 6 整合器
- 7 高周波電源
- 8 基板電極
- 9 誘電体
- 10 金属
- 11 蒸着源
- 12 レーザ
- 13 原料物質
- 14 気体イオン
- 15 材料粒子
- 16 屈折率  $n_1$  の物質
- 17 屈折率  $n_2$  の物質  
( $[0011]$  では  $n_1 > n_2$  としている)
- 18 レジスト
- 19  $\text{Si}$
- 20  $\text{SiO}_2$
- 21 金属 A (例えば  $\text{Al}$  など)
- 22 金属 B (例えば  $\text{Pt}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Ti}$  など)
- 23 機能単位
- 24 3 次元フォトニックバンドギャップ構造

特平10-040736

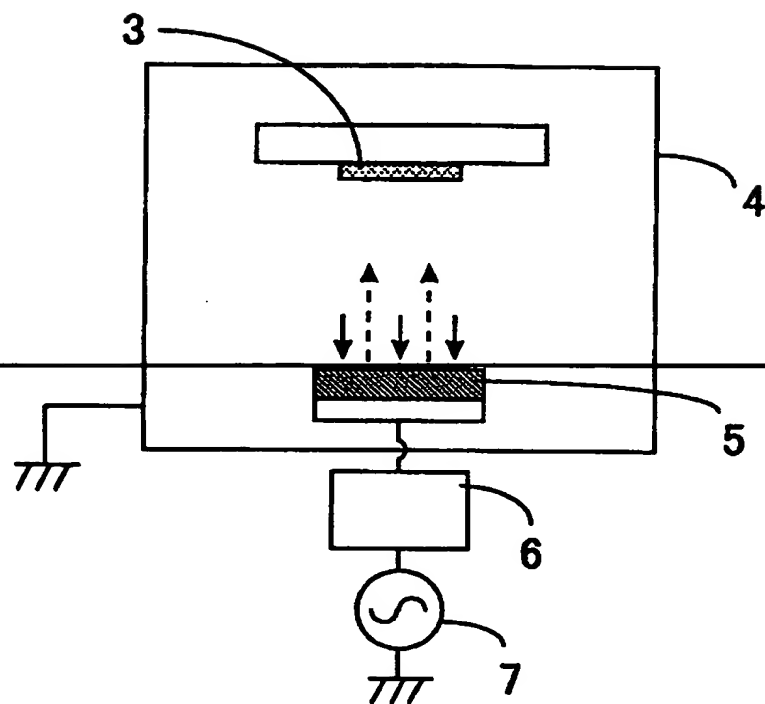
- 25  $\text{LiNbO}_3$
  - 26 Erドープ $\text{SiO}_2$
  - 27 活性領域
  - 28 出力導波路
  - 29 III-V族基板
  - 30 エピタキシャル層
  - 31  $\text{GaAs}$
  - 32  $\text{AlGaAs}$
-

【書類名】 図面

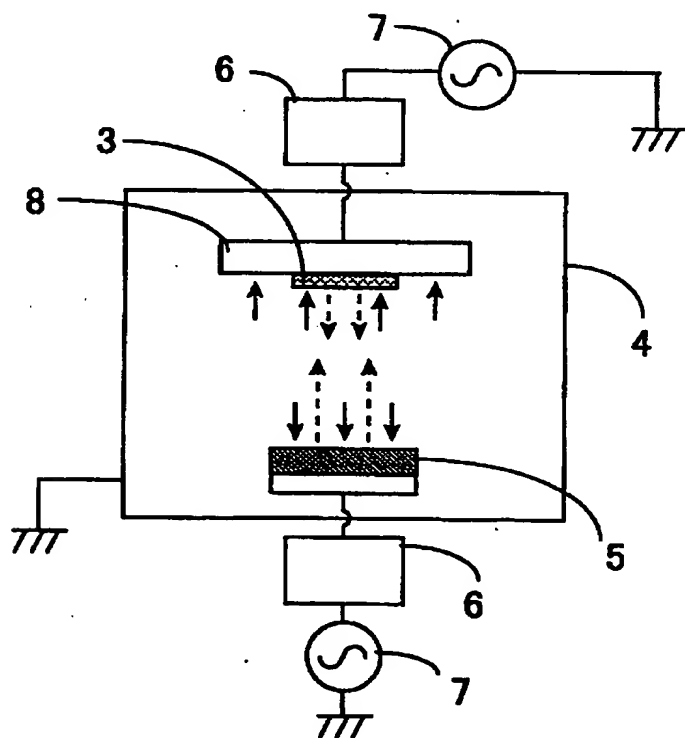
【図 1】



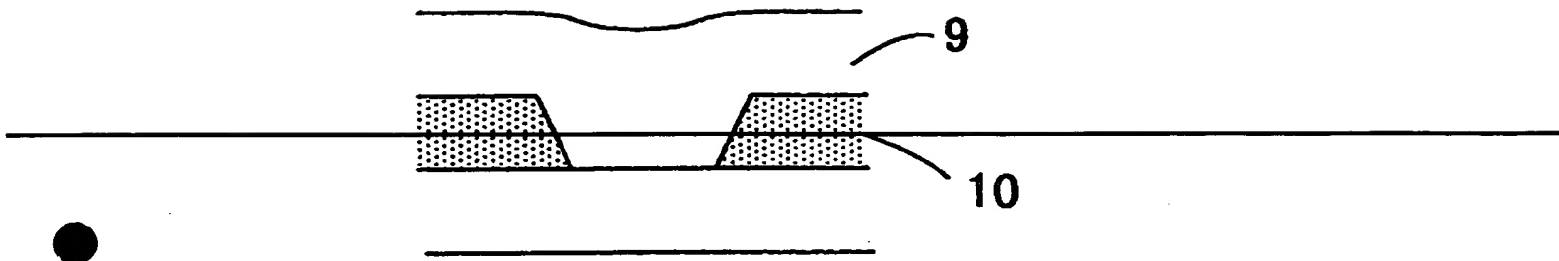
【図 2】



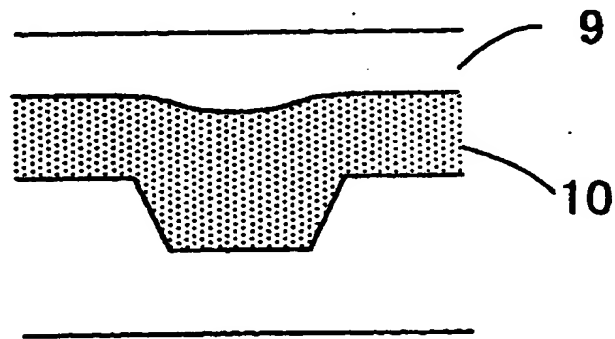
【図 3】



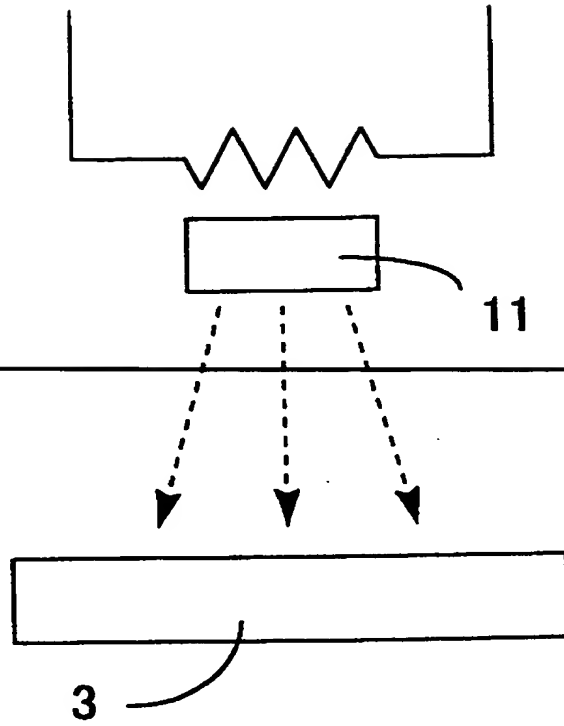
【図 4】



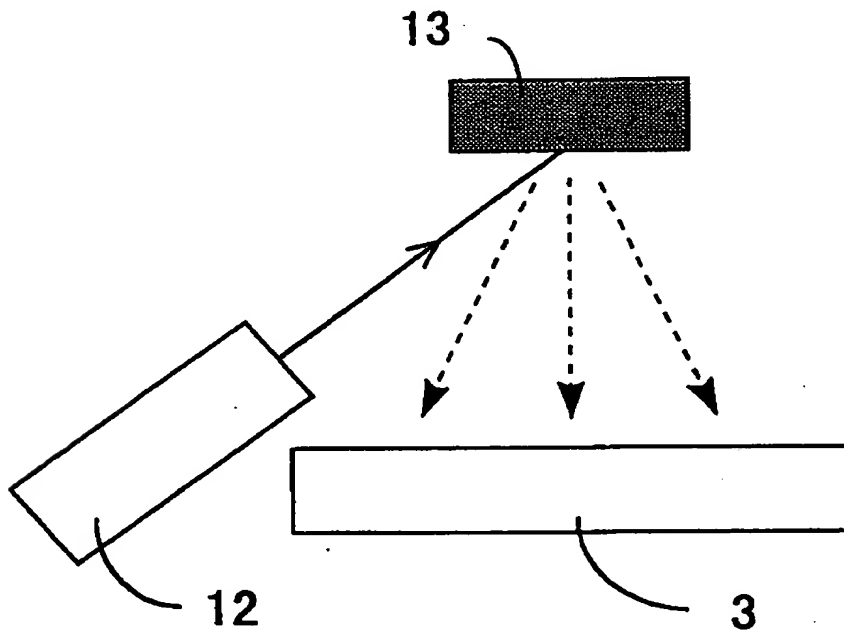
【図 5】



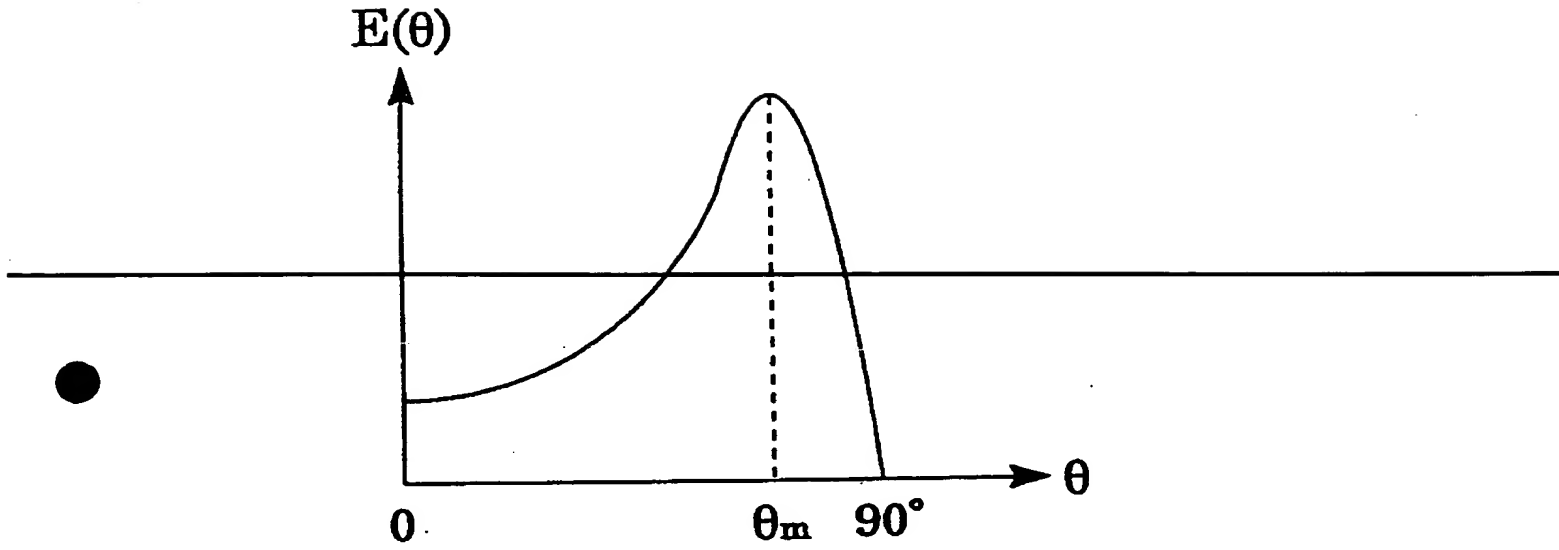
【図 6】



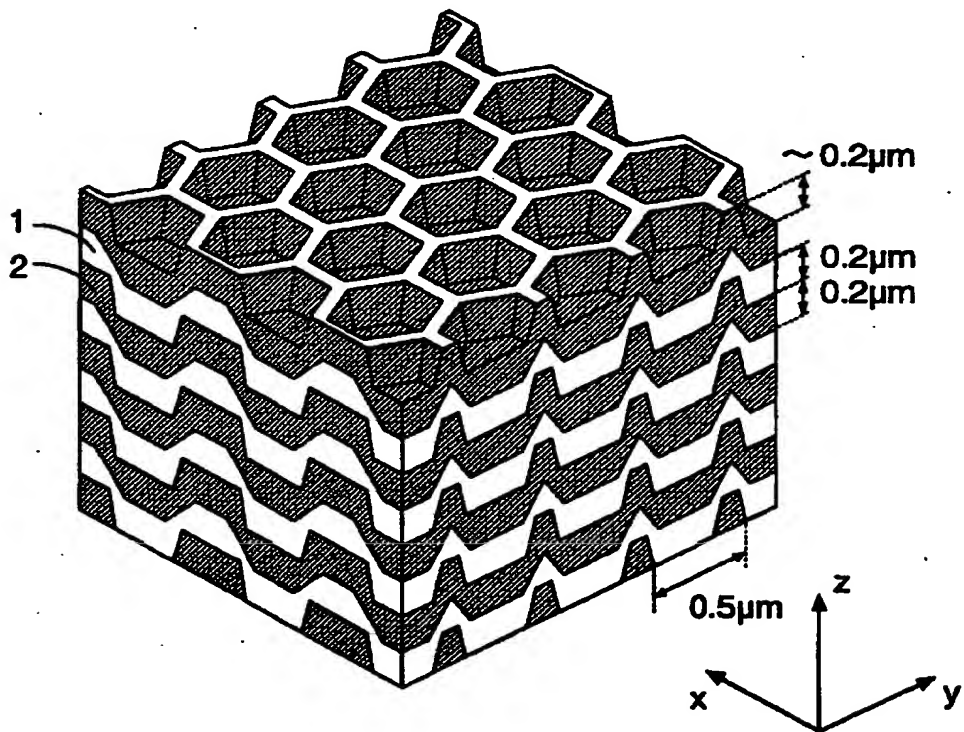
【図 7】



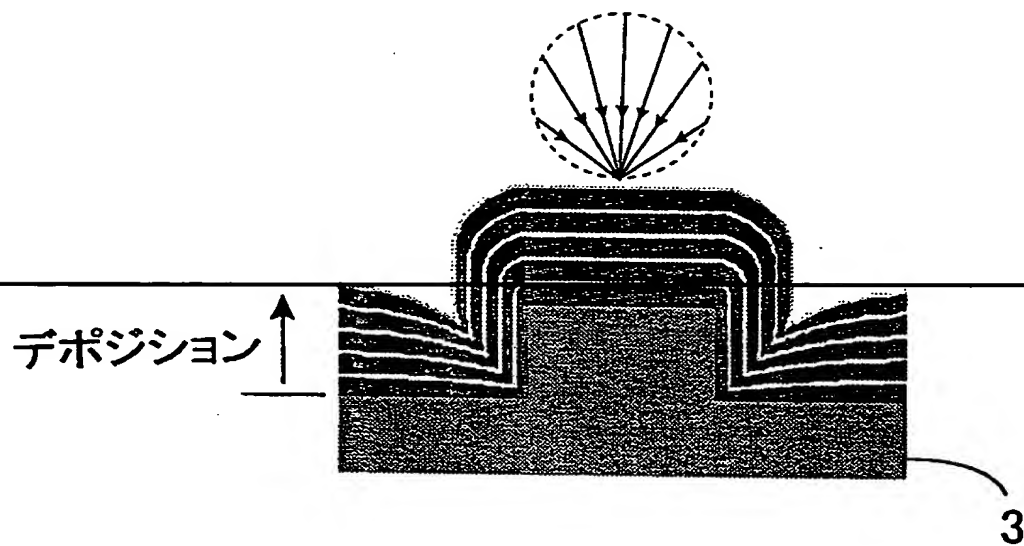
【図 8】



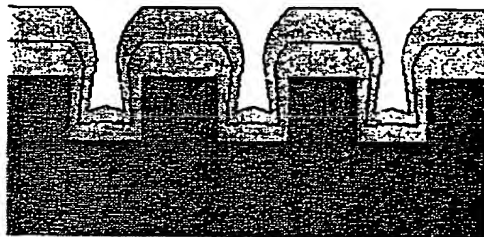
【図 9】



【図 10】

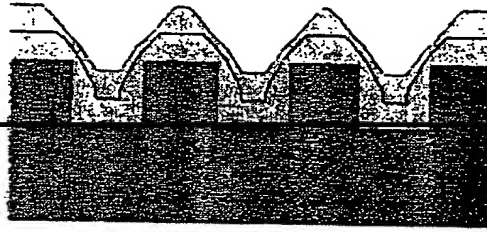


【図 11】

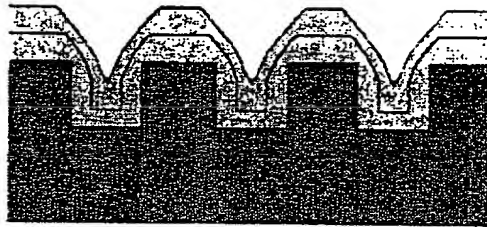




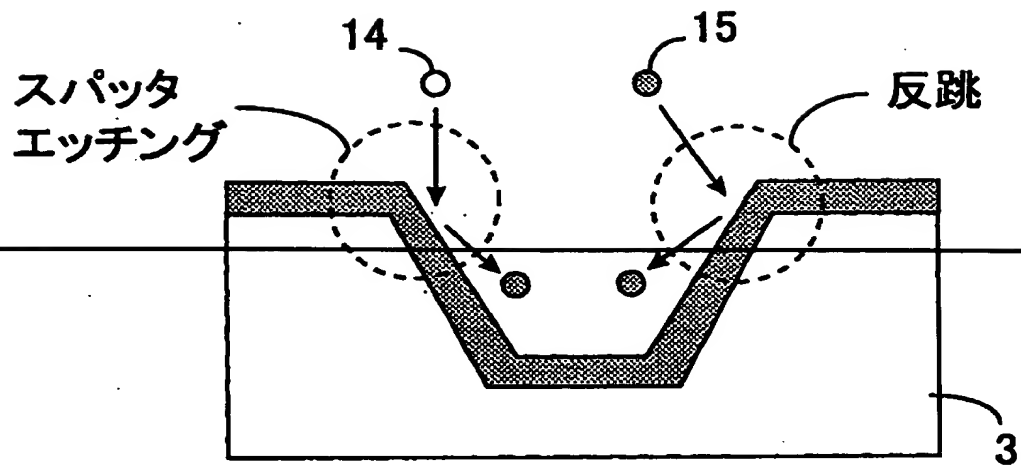
【図 1 2】



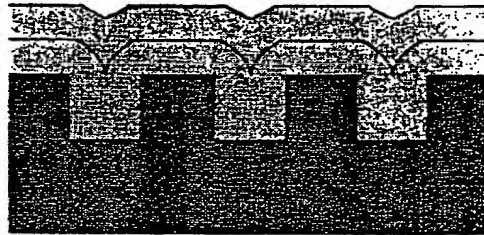
【図 1 3】



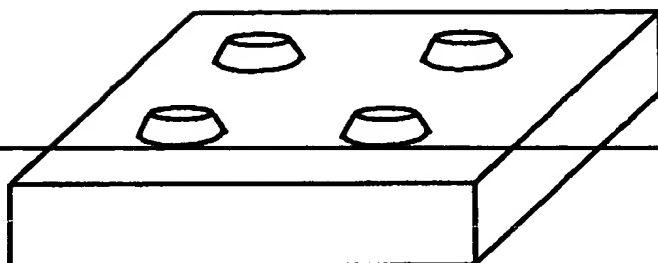
【図 14】



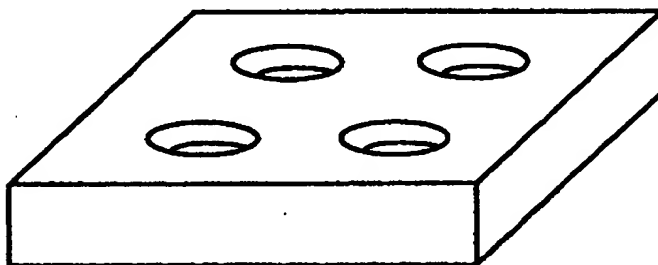
【図 15】



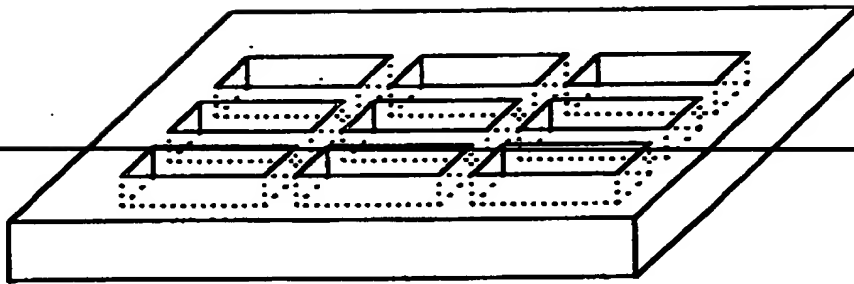
【図 16】



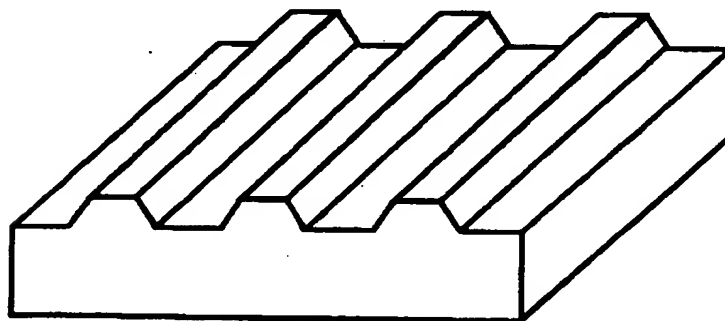
【図 17】



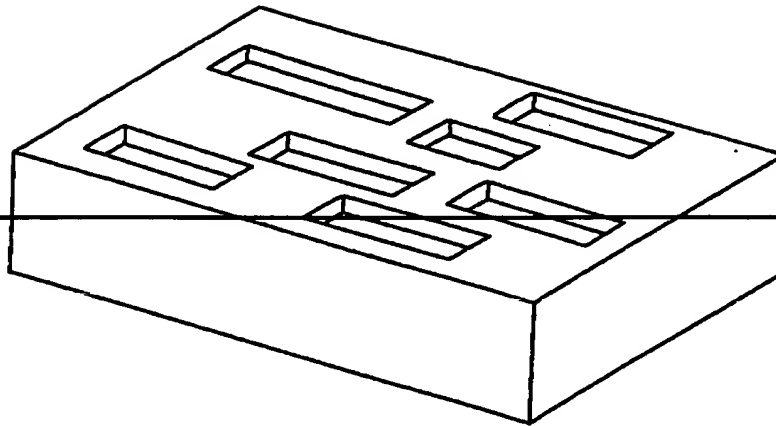
【図 18】



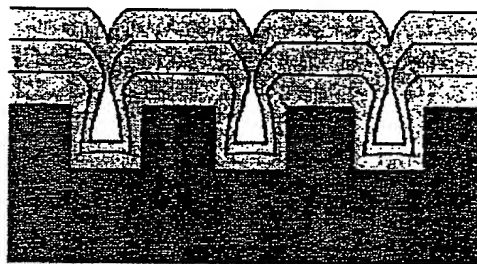
【図 19】



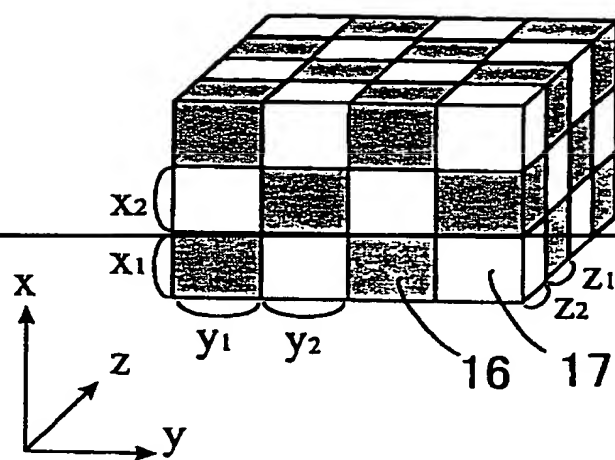
【図 20】



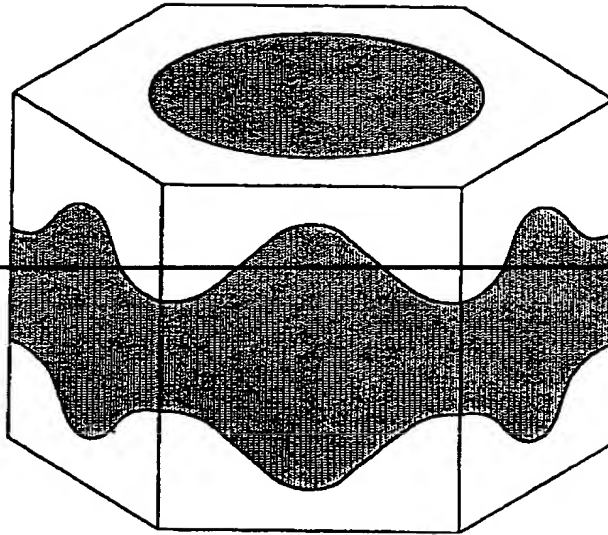
【図 21】



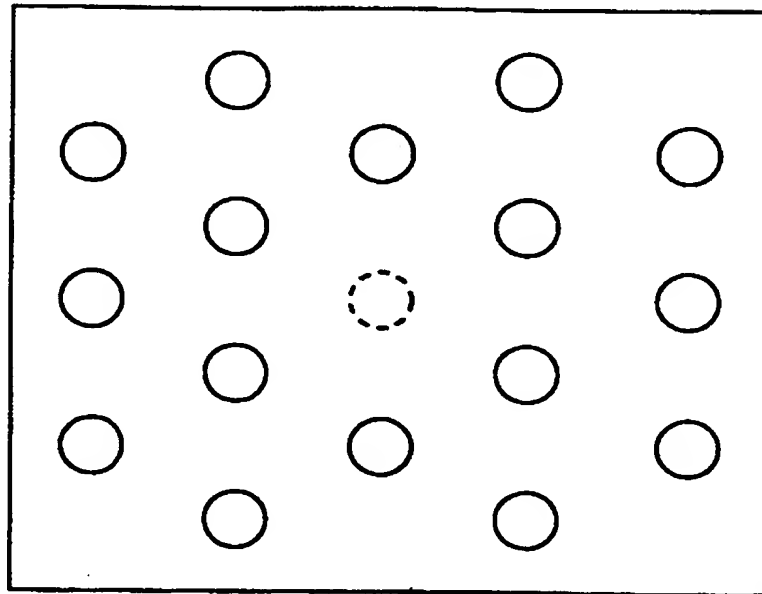
【图22】



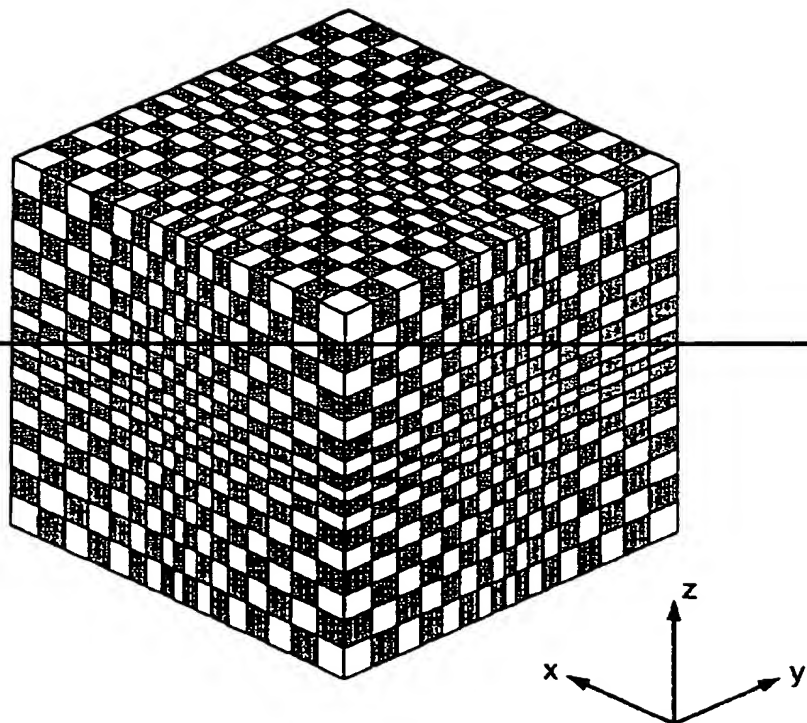
【図 23】



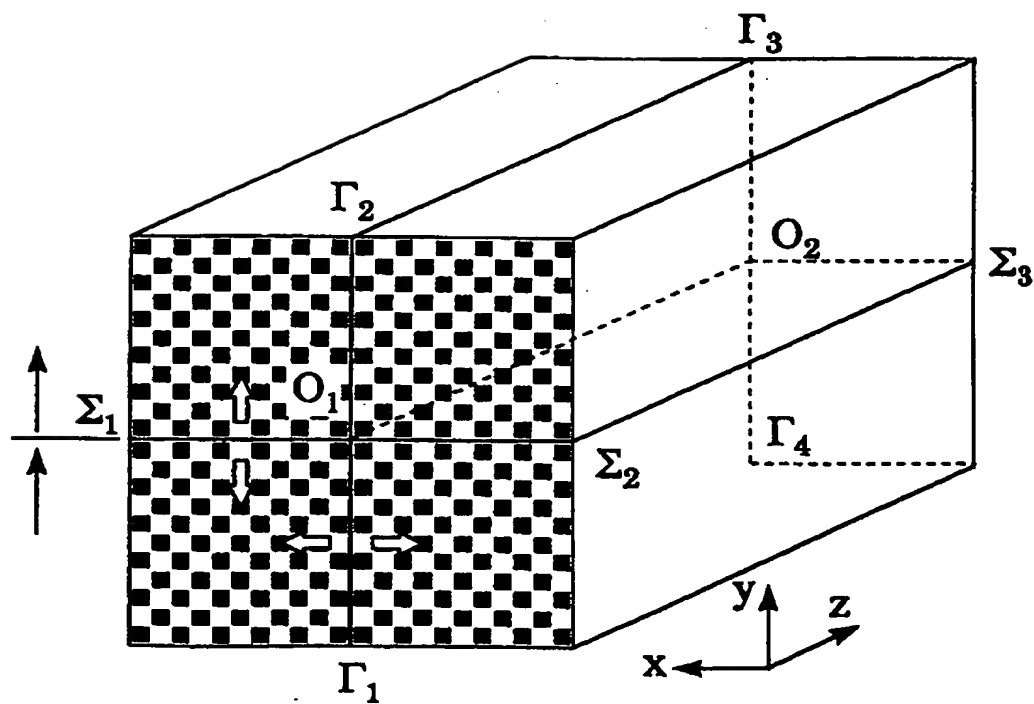
【図 24】



【図 2 5】

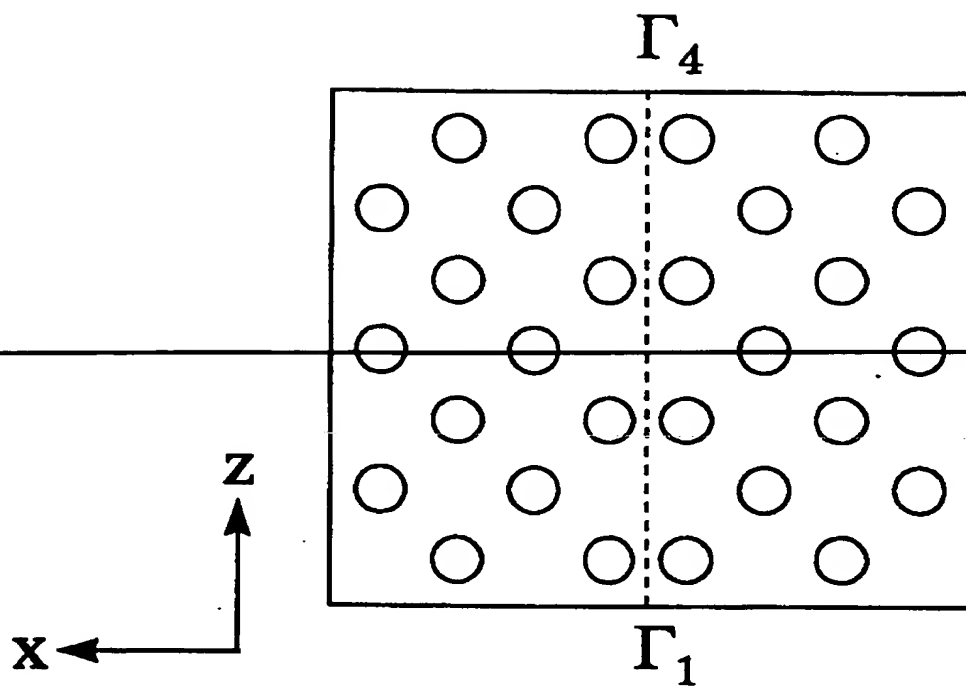


【図 2 6】

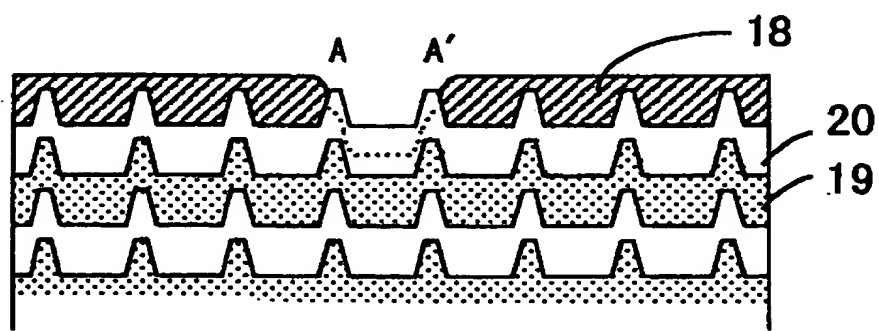




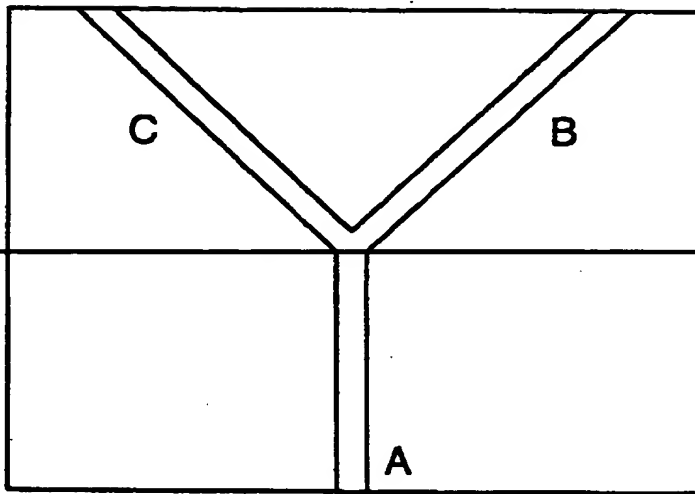
【図 27】



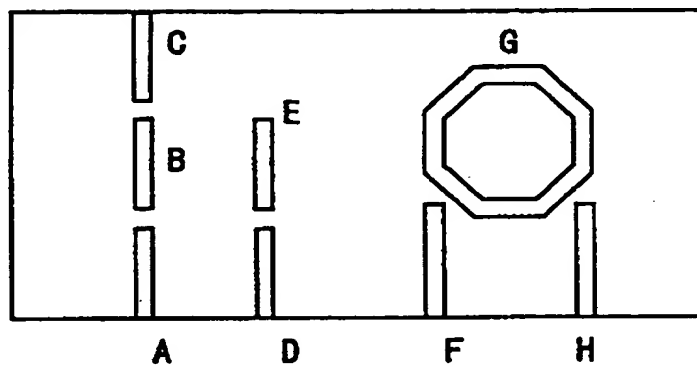
【図 28】



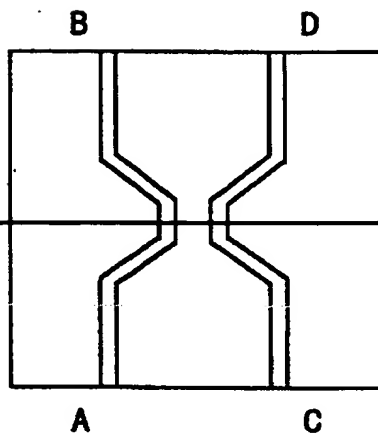
【図 29】



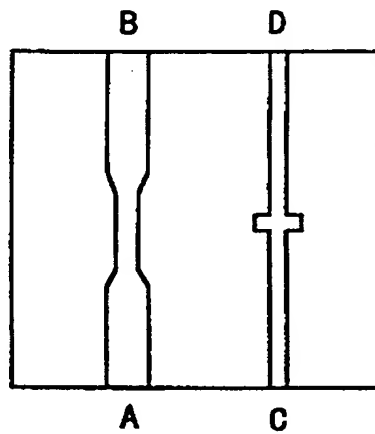
【図 30】



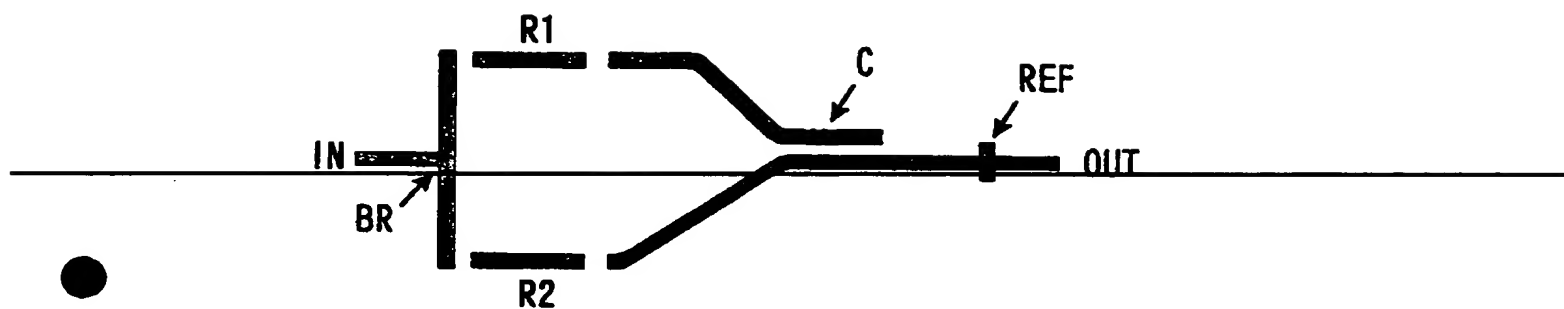
【図 3 1】



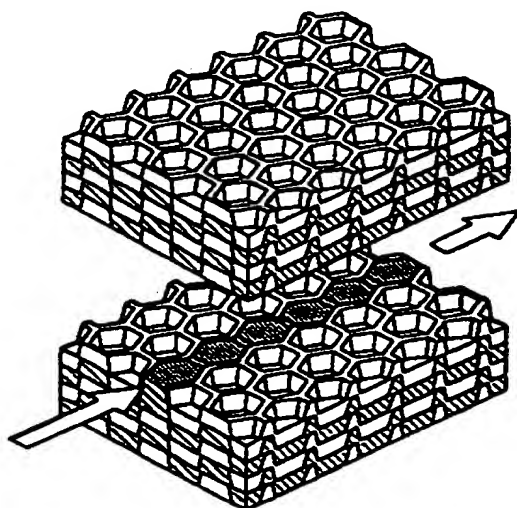
【図 3 2】



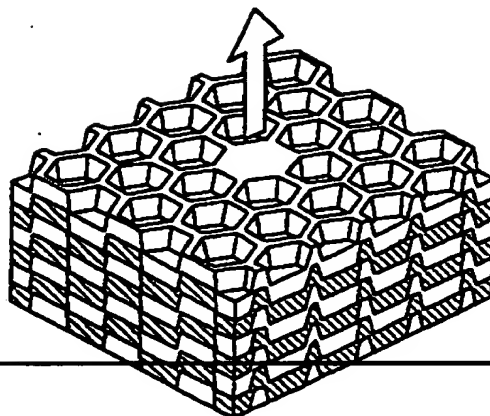
【図 33】



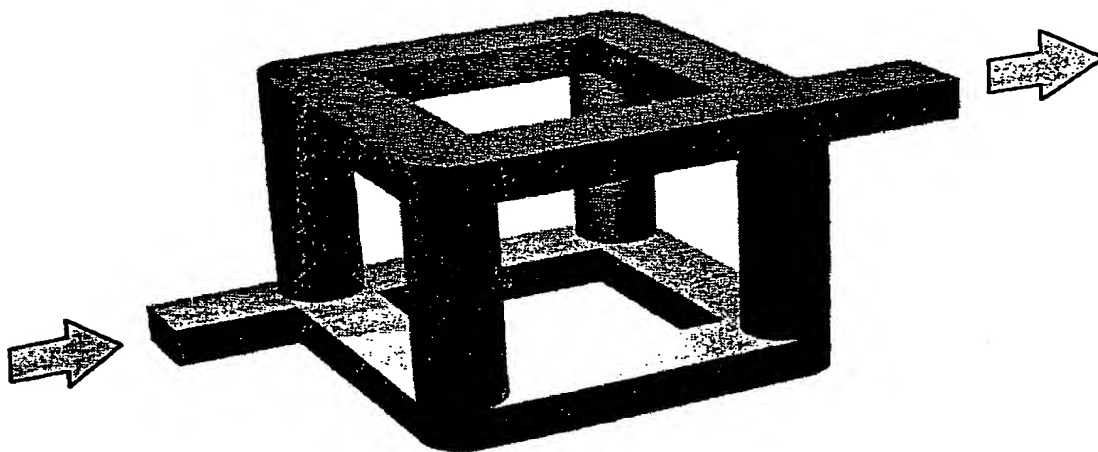
【図 34】



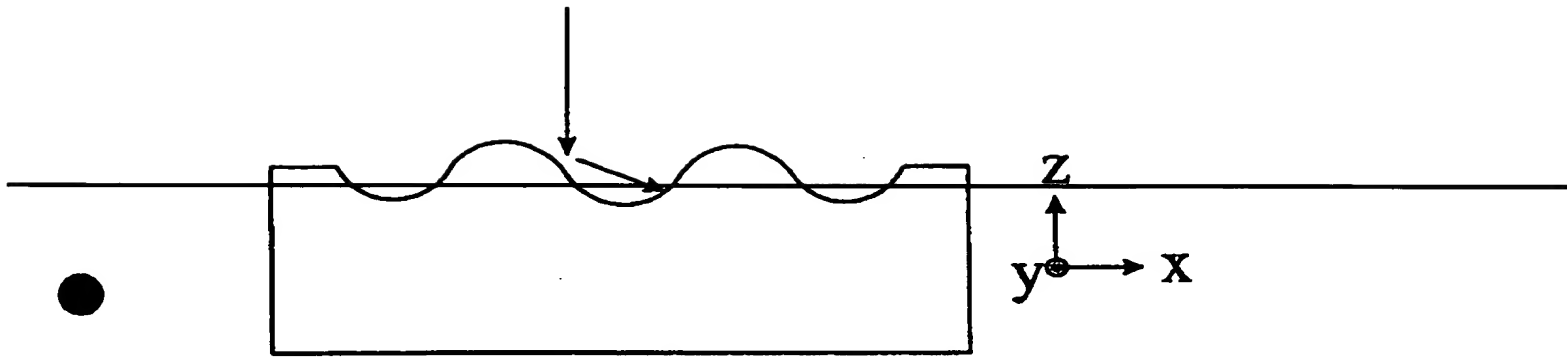
【図 3 5】



【図 3 6】



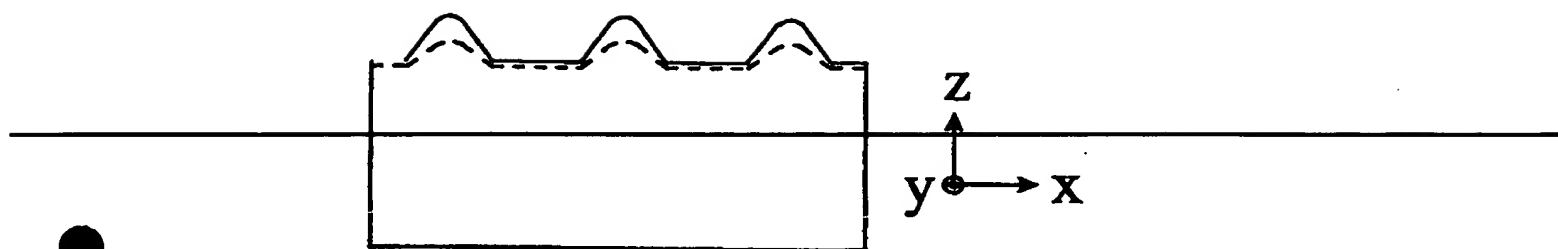
【図 37】



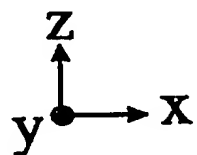
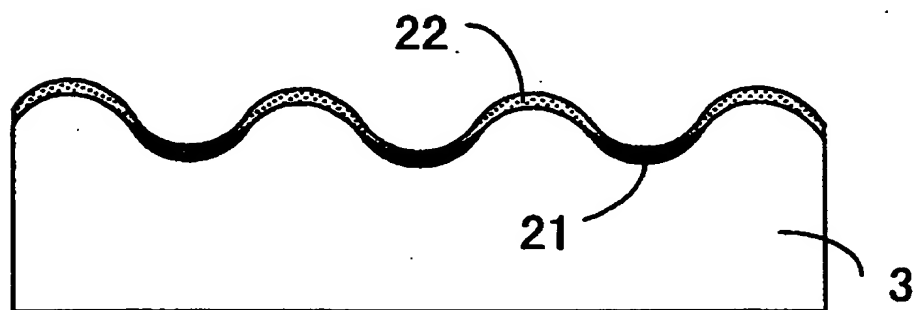
【図 38】



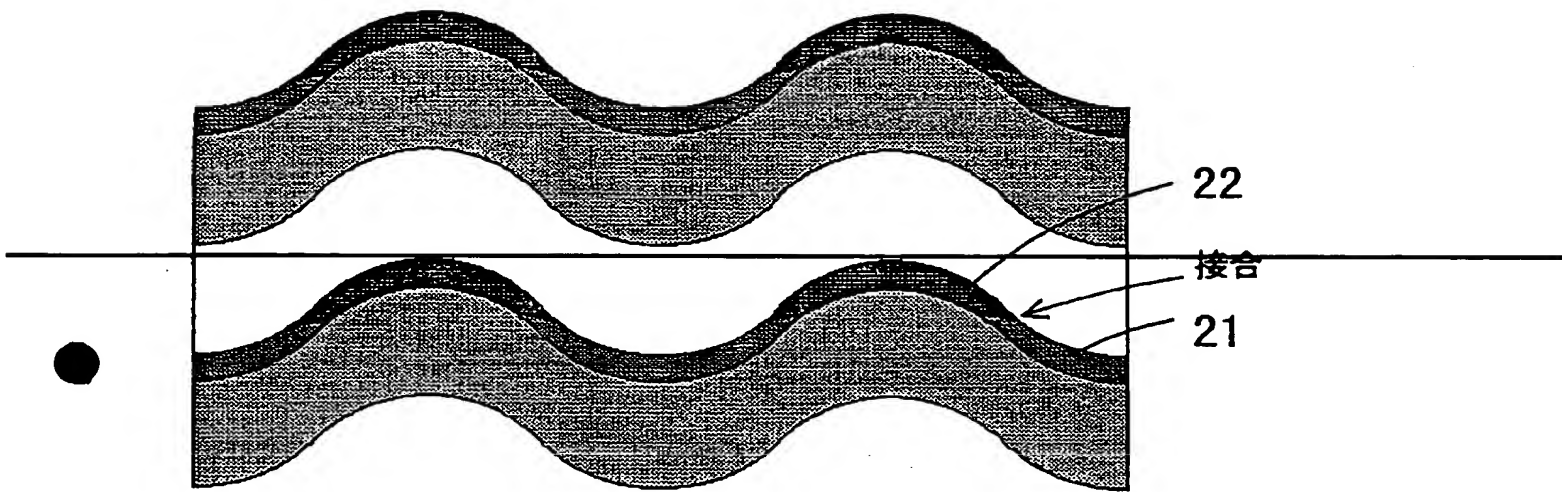
【図 39】



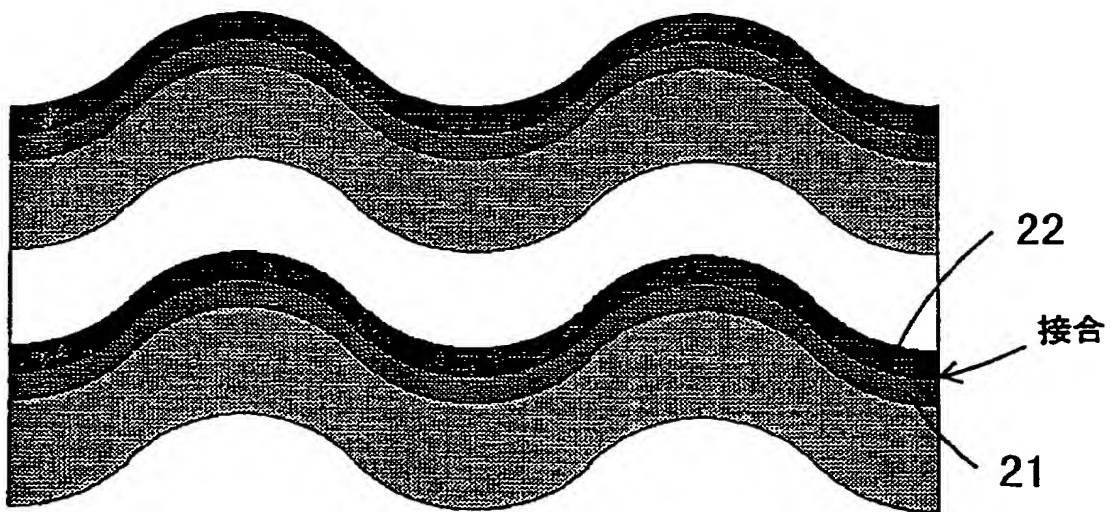
【図 40】



【図 4 1】

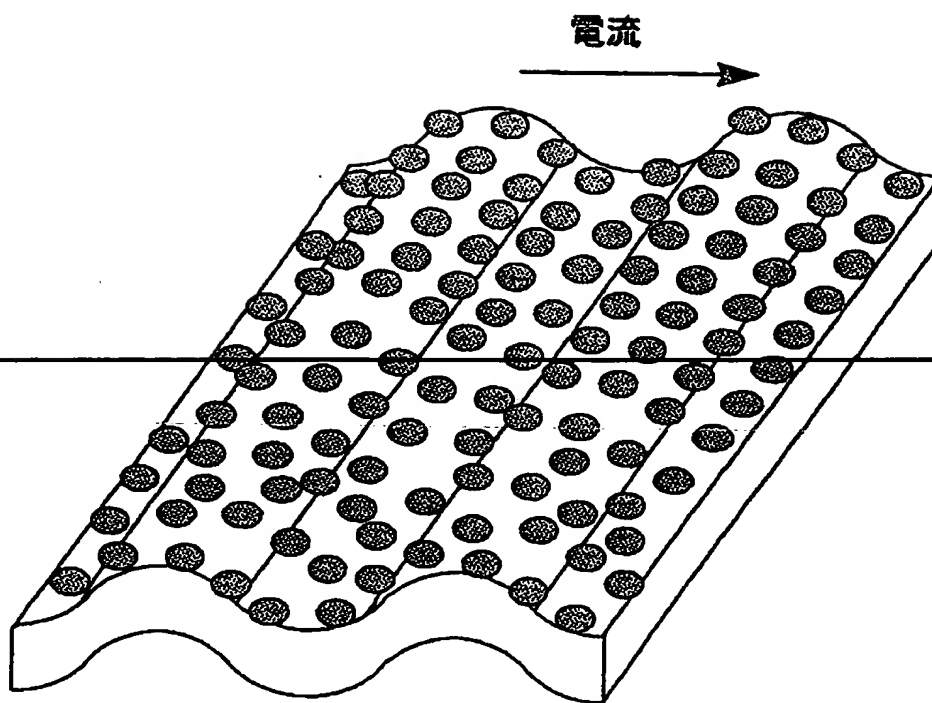


【図 4 2】

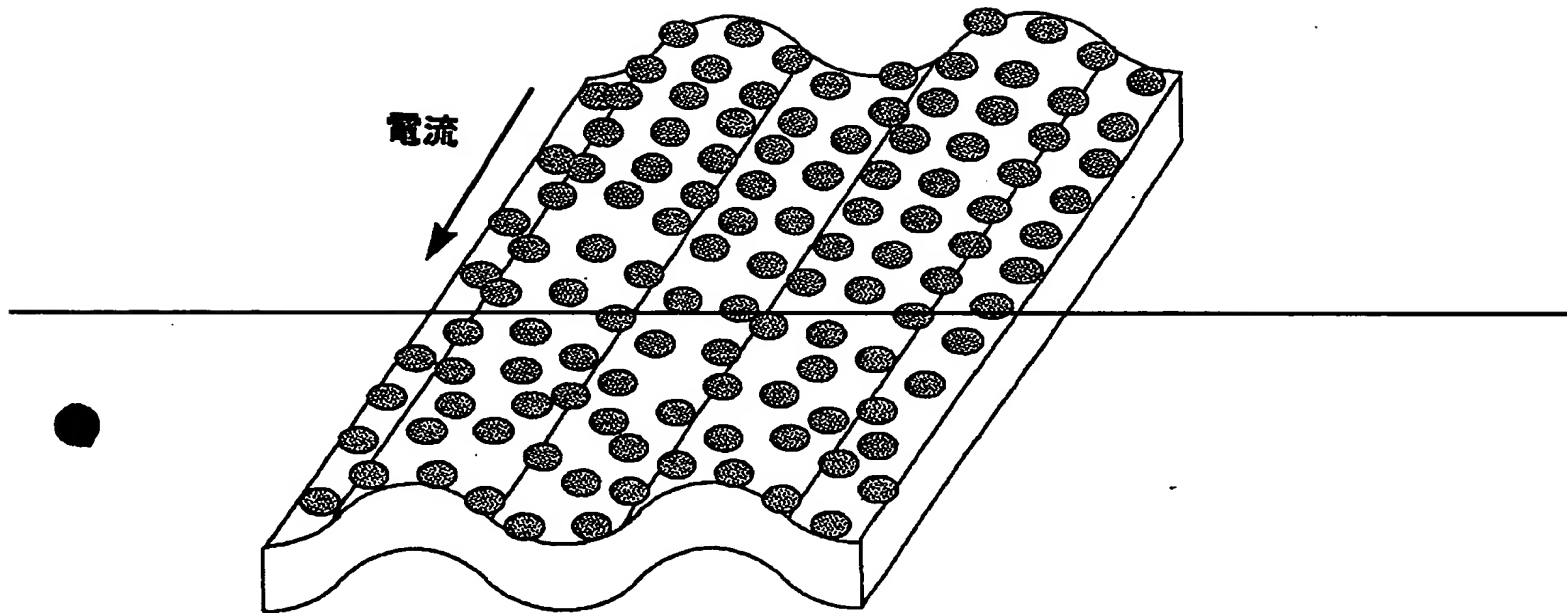




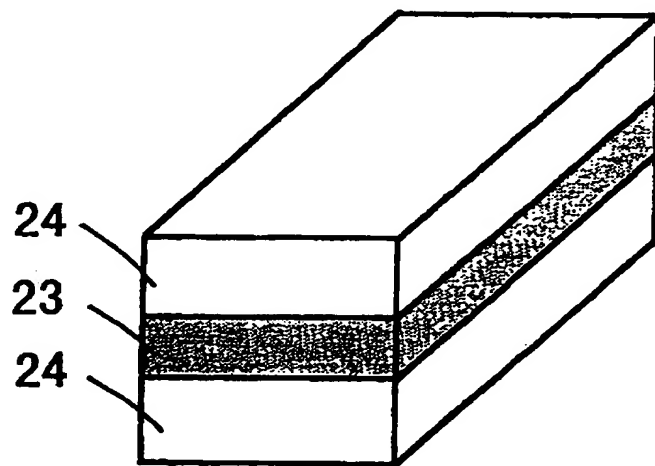
【図43】



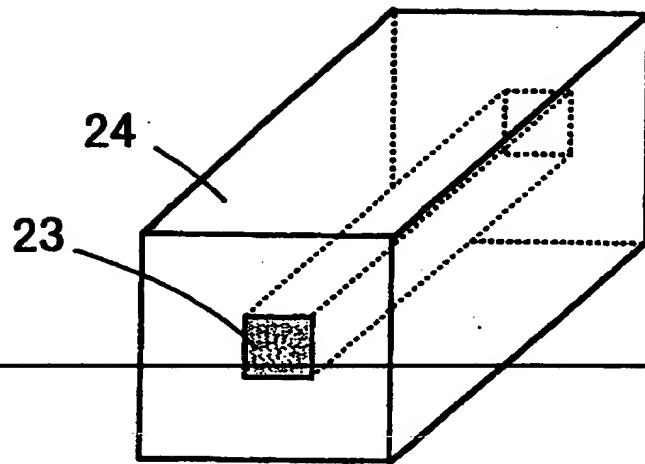
【図 4 4】



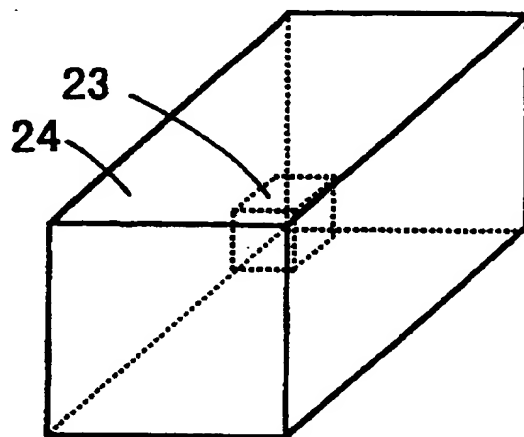
【図 4 5】



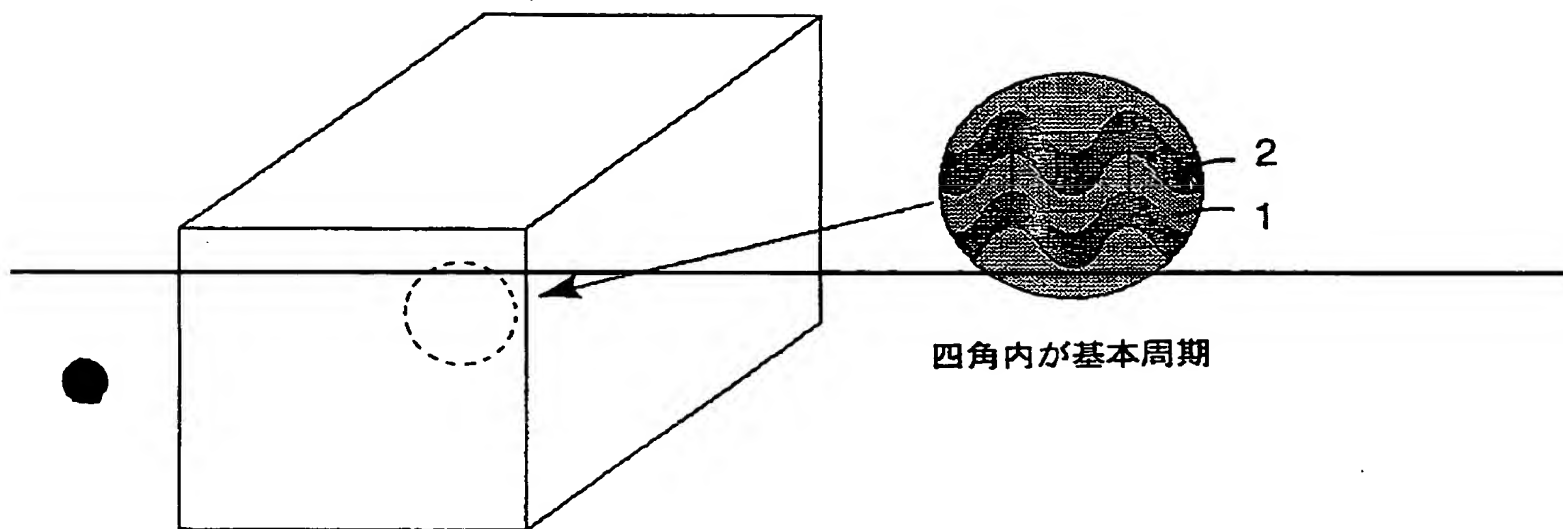
【図 4 6】



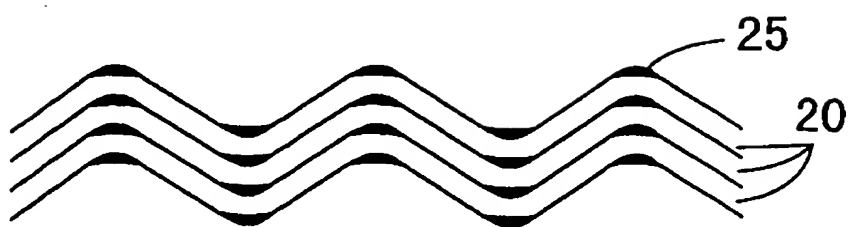
【図 4 7】



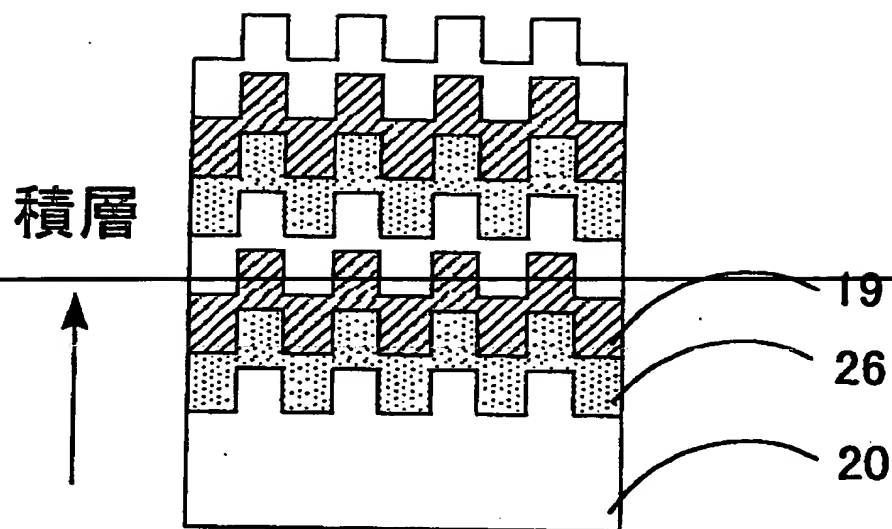
【図 48】



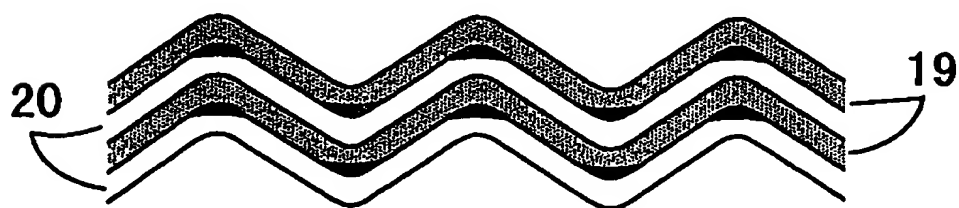
【図 49】



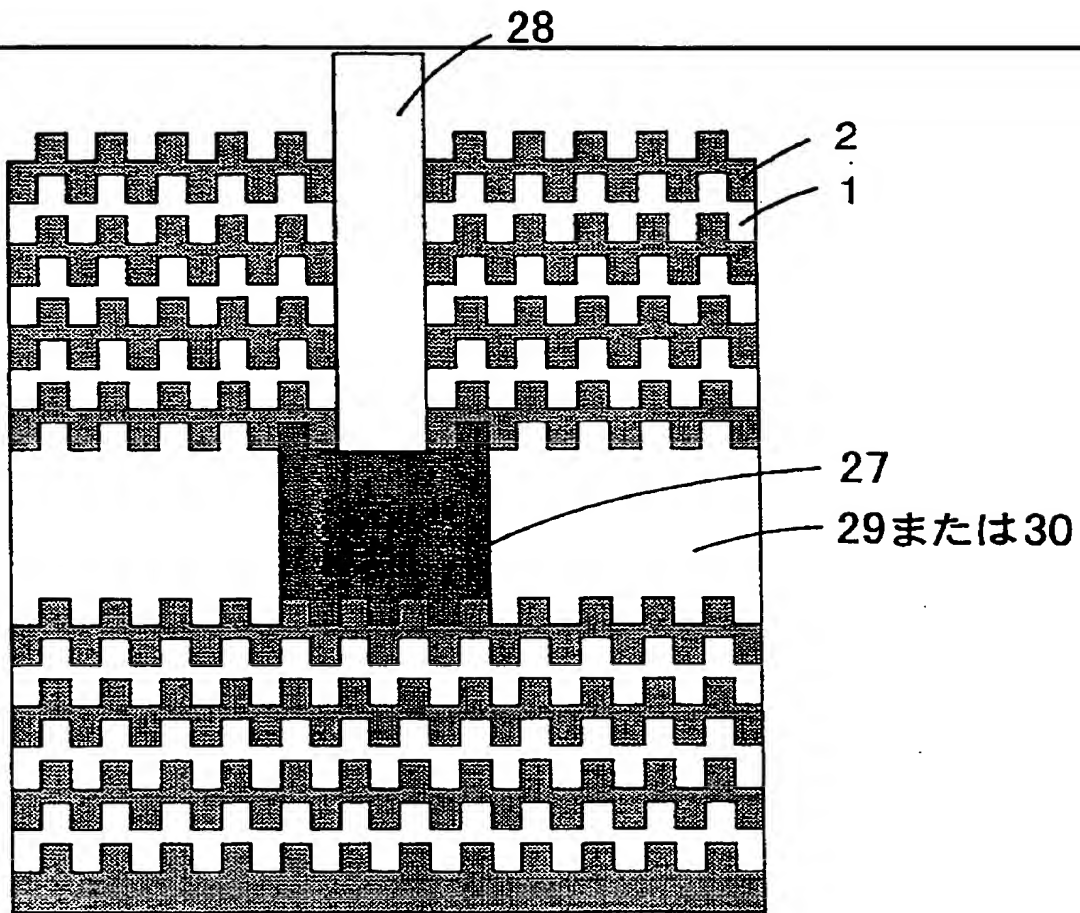
【図 50】



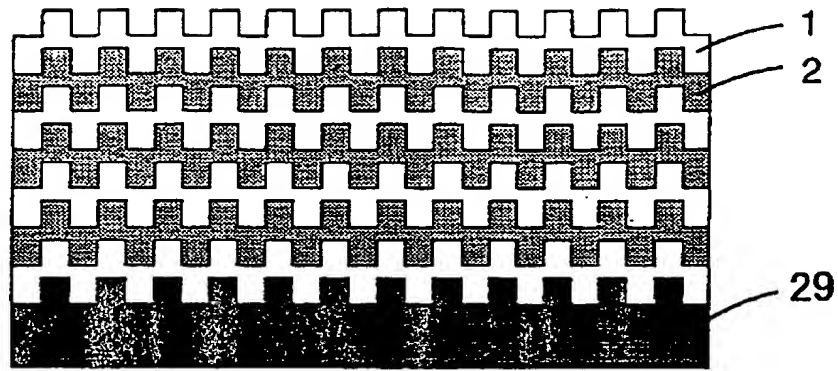
【図 51】



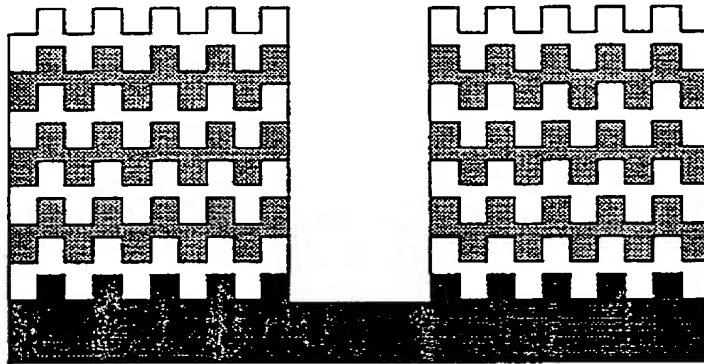
【図 5 2】



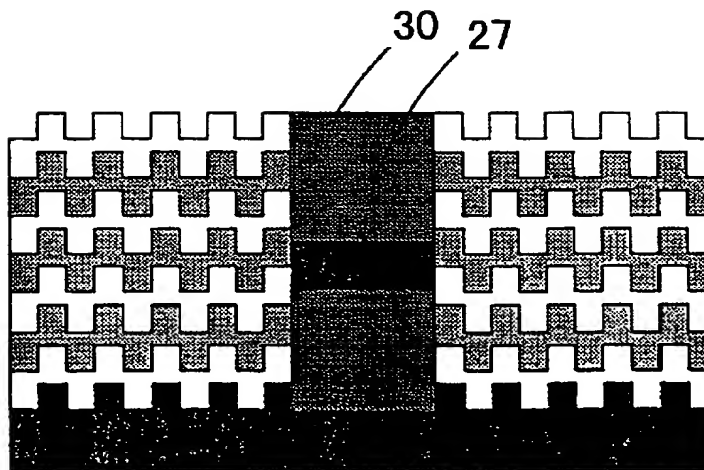
【図 53】



エッチング

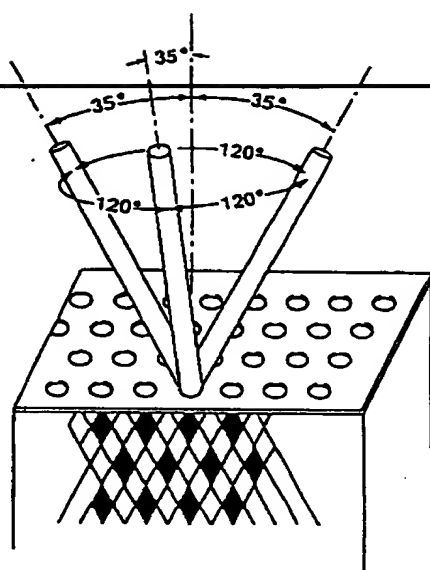


エピタキシャル成長



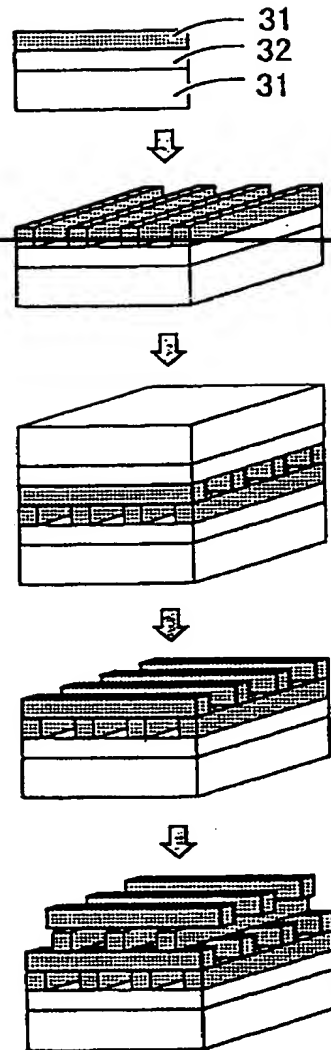
特平 10-040736

【図 5 4】





【図 55】



【書類名】 要約書

【要約】

【目的】 周期が1 mm程度ないしそれ以下の3次元周期構造を提供する。

【課題】 2次元的にほぼ周期的な凹凸を持つ2種類以上の膜状物質をほぼ周期的に順次に積層した構造を持つ、3次元的にほぼ周期的な構造体から成る。一例として、屈折率の異なる材料1と材料2から構成される。

【解決手段】 簡単な製造方法により、周期が1 mm程度ないしそれ以下の3次元周期構造体を得られる。この構造によって、着目する波長に対して、基板の面内の複数の軸方向および積層の方向を含む多くの立体角方向への伝搬を遮断させることができる。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [391006566]

1. 変更年月日 1990年12月27日

[変更理由] 新規登録

---

住 所 宮城県仙台市若林区土樋236番地 愛宕橋マンションファラ  
オC-09

氏 名 川上 彰二郎

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**